

我国输电线路基础工程现状与研究新进展

郑卫锋¹, 张天光¹, 陈大斌¹, 鲁先龙²

(1. 中电联电力发展研究院有限公司, 北京 100053;

2. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192)

摘要: 近十余年来,随着特高压工程的快速建设,输电线路遇到的地貌类型多、地质条件复杂,杆塔基础的荷载也越来越大,各种不良地质条件叠加,基础型式呈现多样化,基础设计与施工遇到的挑战也越来越多。基于全寿命周期下的安全稳定理念,结合规划、基建及运行维护阶段,考虑环保与水保要求,系统总结分析了输电线路基础工程现状,梳理提炼了基建阶段中勘察、设计、施工、检测等方面存在的疑虑,全面分析了输电线路基础的最新研究成果,提出了输电线路基础工程的重点研究思路及方向,为输电线路基础工程的全过程健康提供参考。

关键词: 输电线路;杆塔基础;现状分析

中图分类号: TM75

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2020)02—0169—07

Current Status and Latest Research Progress of Tower Foundation to Transmission Line in China

ZHENG Weifeng¹, ZHANG Tianguang¹, CHEN Dabin¹, LU Xianlong²

(1. CEC Electric Power Development Research Institute Co., Ltd., Beijing 100053, China;

2. China Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100192, China)

Abstract: With the rapid construction of Ultra-high Voltage engineering in recent years, the transmission line tower foundation have encountered many types of landforms and complex geological conditions. Foundation types are also diversified in order to adapt bigger tower force conditions. The challenges of foundation design and construction are complex under frequently geological hazards. Based on the safety concept in full life cycle management, the foundation engineering current status of planning, construction and maintenance stage are systematically summarized considering the environmental protection and water conservation. The doubts in survey, design, construction, testing in construction stage are combined and refined to provide reference for the process health of transmission line foundation engineering. The research results and the main research directions of tower foundation engineering are finally analyzed and summarized.

Keywords: transmission line; tower foundation engineering; current situation analysis

2009年,第一条1000kV晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程投入运行,截止2019年底,国家电网公司已建成“九交十直”特高压工程,南方电网公司已建成三大特高压直流工程,累计线路长度2.8万km,形成了以特高压为骨干网架、各级电网协调发展的坚强智能电网。35kV及以上运

行线路长度从2006年的100万km突破到2019年的约200万km^[1]。线路电压等级提升到了新高度,线路杆塔荷载成倍增长;运行线路长度增长了一倍,线路走廊越来越复杂,遇到的地质条件千变万化^[2-4],基础工程的基建阶段与后期运行维护遇到的挑战越来越突出。塔基周围无序堆土形成黄色瀑

布、软土地基发生不均匀沉降导致上部塔材扭曲、山区斜坡基础发生滑移、基础立柱产生裂缝等等,由于基础自身健康问题影响着输电线路的安全稳定运行,基于此,本文全面分析我国输电线路基础工程的现状,结合最新研究进展,提出未来研发方向,供相关技术人员参考。

1 基础工程现状分析

程永锋等^[5]提出,针对输电线路基础的共性、前沿和关键的科学问题,探索输电线路杆塔基础的机理和规律,解决工程中出现的一系列地基基础工程关键科学技术问题,彻底改变我国送电线路基础设计保守落后的现状,开创我国 21 世纪送电线路基础工程“技术先进、设计安全合理”的全新局面。鲁先龙等^[6]指出,输电线路基础设计和施工中需要考虑的边界条件较多,杆塔基础抗拔和抗倾覆稳定性是其设计控制条件,我国线路基础工程建设出现了斜掏挖原状土基础、软土微型桩基础等新型基础型式。

2005 年、2008 年南方雨雪冰冻极端恶劣天气下,由于覆冰或导线舞动导致铁塔发生倒塔事故,基础存在裂缝、地脚螺栓损坏等,但基础自身被拔出现象较少。针对湖南某 500 kV 线路的倒塔基础开展破坏性试验,基础极限抗拔承载力为设计值的 3.8 倍~5.4 倍^[7],说明基础设计比较牢固,也表明我国杆塔基础工程安全裕度仍偏大。

电力行业标准历经《架空送电线路设计技术规程》^[8](SDJ 3—79)、《送电线路基础设计技术规定》^[9](SDGJ 62—84)、《架空送电线路基础设计技术规定》^[10](DL/T 5219—2005),现采用《架空输电线路基础设计技术规程》^[11](DL/T 5219—2014),目前此规程正在修订中。基础设计最初采用安全系数法,现逐渐过渡到以概率理论为基础的极限状态设计方法,基础设计值与标准值、安全系数与附加分项系数之间存在对应的转换关系,但安全状态基本一致。

1.1 基础工程的基本理念

以人为本、环境友好,已成为当前工程建设的首要准则。因此,输电线路基础工程的建设要贯彻安全第一、施工可行,适当考虑经济性的原则。

安全是工程建设的第一要素,不仅包括基建阶段的安全,也要考虑运行维护阶段的安全。如基坑开挖工程中突遇流沙夹层,要第一时间停止开挖并迅速通知技术人员。再如,目前电网公司业主主推

的岩石锚杆基础就是基于降低施工风险等级、保证人员安全性角度提出的。

施工可行重点强调施工机械可就位钻进、施工方案安全可靠。输电线路点线状特点造成施工机械进出场频繁,输电线路途经交通不便的高山大岭或密集工农业集聚区造成进场通道不畅通,因此选择基础施工作业机械时要经详细现场调查,关注施工机械能否顺利到达塔基。针对千差万别的地质条件,重点关注岩土体的强度同时考虑其裂隙风化程度、坍塌程度,保证施工机械足够的马力可实现钻进。在老旧线路改造时上部有运行导线,放炮方案将不可实施;环保水保敏感区域,灌注桩的泥浆循环排放是影响施工方案的主要因素。

经济性是基础工程优化的方向,经济性不仅仅要考虑材料本体量,也要结合当地施工机械水平和施工技术人员的技术,综合考虑临时道路修筑、现场施工安全保证等措施费用。减少基础混凝土量、钢筋量、土石方工程量是设计人员重点优化的技术方向,但要结合现场地形地质条件和施工方案确保综合性最优。如软土地区的灌注桩基础综合费用与板式直柱基础基本相当,甚至某些荷载较大的杆塔基础采用灌注桩更经济。

1.2 规划、基建与运行和维护的关系

输电线路的全寿命周期涵盖规划、基建、运行和维护等阶段。规划阶段要考虑设计、施工可行性,设计阶段要充分考虑到运行便利性。输电线路全寿命周期最优就是要充分考虑各阶段实际状况,找出最优解。

在规划阶段,基础工程应当开展安全风险、地质灾害分析评估,优化工程选线、选址方案。“避”是前提,要尽量避开崩塌、滑坡、泥石流、塌陷等不良地质灾害区,无法可避时才采取技术措施进行防与治。采动影响区、高寒冻土区、湿陷性黄土区要合理选择基础型式,水土流失、山洪冲刷地段要采用修筑挡土墙、截水沟等加固措施,分洪区要考虑冲刷及漂流物撞击影响,沙漠地区要采取防风固沙措施。

在设计阶段,对常规地形地貌、地质条件的基础工程,首先要结合现场实际条件进行基础型式优选,借助软件进行基础尺寸优化,提出切实可行的施工技术措施。对不良地质区域的基础工程,首先要保证基础自身设计安全,还要通过加固措施保证基础周围环境的安全。特别是山区线路,要提出余土处理措施,施工单位要执行到位,防止表层“黄色瀑布”现象甚至边坡崩塌等地质灾害发生。

在运行和维护阶段,要加强基础的检查和维护,对取土、挖沙、采石等可能危及基础安全的行为,应及时采取防范措施。要采取防盗、防撞等防外力破坏的措施,及时制止开山炸石、爆破作业、大型机械施工、非法采沙等危及基础安全的行为。

1.3 环境保护与水土保持

《中华人民共和国环境保护法》^[12]与《中华人民共和国水土保持法》^[13]都明确规定:环保与水保设施,应当与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。规程^[11]规定:输电线路的基础设计应符合国家环保、水土保持和生态环境保护的相关法律法规的要求。开工前需获得批复,施工时要与设计相一致,竣工时要验收合格。

输电线路建设要依法合规设计,而环保与水保中基础附属设施的设计至关重要,是关系到环保与水保能否顺利通过验收的重要指标之一。环保关心的是项目核准前期的噪音、电磁环境影响,水保关注的是设计施工过程中的塔基周围水土保持方案、余土处理措施等。

2 基础工程建设阶段

在线路路径选取后,基础工程要经历勘察、设计、施工、检测等,验收合格后方可交予运行维护。勘察要保精确度,设计要保证方案可行,施工要确保安全,检测是最后一道质量保护的底线。

2.1 勘察

从工程建设预算费用构成角度,理论上勘察费约占设计费的 35%^[14],实际上各设计单位在分配费用时常重设计、轻勘察,勘察费用整体不足。同时由于输电线路点线状分布,勘察工作存在线路长、地形地质复杂多变、工期短、测量点要求高等特点。另外,尽管各省级设计院都有自己的勘察队伍,但地市级设计单位普遍没有勘察能力,勘察工作常分包给其他行业的勘察队伍,导致勘察质量很难满足设计要求。经费不足、工期要求紧、勘察队伍参差不齐等很难提供高质量的勘察成果,基础施工过程中出现的质量或事故,或多或少都与勘察有一定关系。

平原地区勘察时,勘察人员常存侥幸心理,认为沿线地质条件基本相同,很难做到逐基钻探、逐腿勘探,甚至提供的岩土工程勘察报告也难以满足设计要求精度,如山东试点应用螺旋锚基础中,存在分层土体定性不准、物理力学性质指标脱离实际,施工时扭矩值偏小,基础上拔承载力显著降低。

山区勘察时,受地形限制,大型钻探设备无法到

位,绍尔钻、背包钻的钻探深度受限、岩性及风化程度判定不准,勘察人员只能提供相对保守的地质参数,如湖南某 220 kV 线路工程勘察人员勘察的山区岩体为强风化软质岩,设计人员选用为直径 1.6 m、埋深 12.0 m 的人工挖孔桩基础,施工人员开挖时发现揭露地表 1 m 后即未风化至微风化的凝灰岩,受限不能爆破作业,风镐开挖 3 个月仍进展缓慢,不得不更改为岩石锚杆基础。

因此,建设单位要首先确保费用到位,勘察人员应怀敬畏之心对待工作,勘察设备到位、现场记录准确,勘察数据处理要实事求是,不夸大、不保守,真实反映现场地形地貌、地质条件、环境水文等情况。

2.2 设计

设计是“龙头”,要全方位、全要素、全过程对基础工程设计进行管理,并“把好脉”。与建筑、交通行业显著不同,基础设计有其自身特点,输电线路基础的设计控制条件是抗拔和抗倾覆稳定性。

2.2.1 基础统一命名

输电线路基础命名目前无统一术语标准,为便于在国内、国际上的技术交流,除了具有输电线路特点的少数基础型式外,原则上应与《岩土工程基本术语标准》^[15](GB 50279—2014)相一致。针对此,将目前国内常用的输电线路基础名称归纳总结,如图 1 所示。

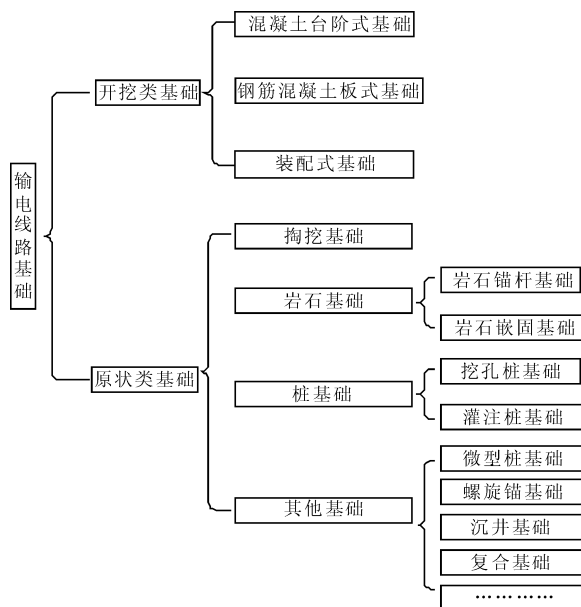


图 1 输电线路基础命名标准

输电线路基础按照施工模式不同,整体上分为开挖类基础与原状类基础。原状类基础充分利用岩土体自身力学特性,是基础选型时首选的基础型式,

开挖类基础要结合具体水文与施工特点选用。

开挖类基础包括混凝土台阶式基础(又称刚性台阶基础)、钢筋混凝土板式基础(包含直柱与斜柱两种型式)、装配式基础。刚性台阶式基础高宽比受限,依靠自身重量和上拔土体提供上拔承载力,基础自身混凝土量较大,适用于基础作用力较小、基坑开挖难度较大的工程。钢筋混凝土板式基础通过底板配筋可显著扩大底板尺寸,基础设计规格较为灵活,适用范围也较广。装配式基础适用于工期要求紧急的抢修工程或材料运输不便的沙漠地区。

原状类基础包含掏挖基础、岩石基础、桩基础及其它基础。掏挖基础是输电线路专有的基础型式,适用于不坍塌的黏土或风化程度高的破碎岩石,采用剪切法进行上拔承载力计算。岩石基础包括岩石锚杆基础与岩石嵌固基础,岩石性能好时采用锚杆基础,设计时岩石等代极限剪切强度取值是关键,这一重要设计参数并非岩土体自身特性,在其他行业中也无此参数取值,也是输电线路专有的地质参数,各勘察技术人员对此取值看法不一。桩基础包括干作业的挖孔桩基础(人工或机械开挖)与地下水位高的灌注桩基础(机械钻孔)。微型桩、螺旋锚、沉井及复合基础等等均有其自身适用性,只有在某些特殊地形地质条件下具有一定的优越性。

针对国网公司管辖的 27 家省公司 110 条架空输电线路的 10 463 基杆塔基础进行统计分析,占比依次为开挖类基础 47.5%(含刚性台阶基础和板式直柱基础)、灌注桩基础 27.3%、掏挖基础 16.0%、挖孔桩基础 8.2%、其他基础 1.0%(含岩石基础、螺旋锚基础、装配式基础、钢管桩基础等)。由此可见,开挖类基础、桩基础、掏挖基础仍是线路工程中首选的基础型式。

2.2.2 基础设计参数选取

开挖类基础设计时重点关注回填土的土体重量与上拔角取值。掏挖基础需关注基础的适用条件,埋深超过 $3.5D \sim 4.0D$ 时剪切法不再适用,埋深大于 $2.5/\alpha$ 不能作为刚性基础考虑土抗力进行水平承载计算。岩石基础需关注岩石等代极限剪切强度的取值,无经验时通过试验确定;岩石条件较好时群锚基础的群锚效应系数往往可取 1.0。桩基础需关注山区桩基的抗倾覆稳定计算,斜坡上基础露头高度与边坡保护距离取值是困扰设计的两大因素。微型桩需关注高压注浆提高系数取值。螺旋锚基础承载力计算方法尚处于研究探索阶段。复合基础重点在于两种基础的承载力发挥程度取值。

2.2.3 基础选型原则

(1)平原软土地区。首选桩基,荷载较小时可选择板式直柱基础,条件受限时可选择台阶式基础。目前华东地区,桩基与板式直柱基础的造价基本相当。

针对软土地区,受到美丽乡村建设、五水共治等河道整治等国家政策影响,交通、铁路、水利行业的施工技术人员对杆塔知之甚少,往往在塔基周围进行大面积、高厚度的堆载,同时运行和维护人员难以及时发现,最终导致板式直柱基础出现不均匀沉降、甚至滑移现象。

软土地基,在桩基选型受限时(如打桩噪音、泥浆池排污受限),且考虑水文冲刷时,可选用台阶式基础,即使其周围回填土体将来受到冲刷流失,台阶式基础自身重力仍能维持杆塔稳定。

同时部分对水位很高的软土地基,板式直柱基础底板施工时支模板、绑扎钢筋等施工进度缓慢,四周抽水难以保证,可选择施工速度快的刚性台阶基础。

(2)丘陵山区。土体覆盖层较厚时选择掏挖基础、挖孔桩基础;岩石覆盖层薄、岩性较好、坡度较缓时宜选择岩石锚杆基础,选用岩石锚杆基础时要结合当地具体条件,选择技术力量强的施工队伍选择,并考虑施工锚杆钻机、空压机的搬运,尽量保证连续应用;岩性相对较差时可选择岩石嵌固基础,荷载较大时选择挖孔桩基础。

岩石锚杆基础的经济性较好,且安全性高。但该基础对勘测、场地条件、施工机械、施工水平要求较高。地质一般要求在强风化硬质岩石及以上,地形坡度要求平缓,需考虑机械上山问题。

岩石嵌固基础常用在强风化硬质岩及以上、中风化软质岩及以上。上部覆土较薄,基础嵌入岩石一定深度时,可忽略上部覆土层的抗剪切能力。

2.2.4 基础设计优化

以结构受力最合理、本体综合造价最低为原则,探讨基础的主要设计优化措施。

板式直柱基础,上拔控制时,裂缝开裂验算影响配筋量设计;下压控制时,采取立柱或地脚螺栓偏心优化设计,方可有效。

岩石锚杆基础要抛弃综合造价低的“传统思维模式”,在安全性、环保性的优势足够其强大的生命力,在设计中注意短而多、锚桩间距、承台嵌岩深度、立柱偏心设计,但需要勘察、设计、施工、检测等四方高度配合方可提高其工程应用比例。

挖孔桩基础采用扩底桩计算模型可以最大程度发挥覆土下基岩的良好承载性能,有效减小基础埋深,提高经济性及施工安全性。大直径挖孔桩基础根据实际情况采用地脚螺栓偏心布置。

灌注桩基础,采用承台 45 度摆放 + 立柱小偏心的基础型式。

2.2.5 杆塔与基础的连接方式

工程中杆塔与基础的连接采用插入角钢和地脚螺栓等两种连接型式。当基础主柱为直柱时,优先采用偏心地脚螺栓连接;当基础立柱为斜柱时,采用斜顶地脚螺栓或插入角钢连接。

斜柱基础、插入式角钢基础在杆塔倒塔受损后,往往有损伤,修复时比较困难,影响重新立塔工期,在重冰区、大风区等易遭受自然灾害的地区逐渐淘汰。因此,在中、重覆冰区,采空区、岩溶区、湿陷性黄土、盐渍土、软土、冻胀土等特殊地质条件的塔位不宜采用插入角钢,也不宜采用斜柱基础。

2.3 施工

施工首保安全,同时必须满足施工方案可行,在此基础上才考虑施工的经济性。

在建设行业领域,人工挖孔桩存在施工作业环境恶劣、工人劳动强度大、危险性极高、安全保障极差,随时受到漏水、涌沙、塌方、毒气、触电、高处坠落、物体打击等安全威胁,是一种落后的施工工艺,被列入“限制类”名单。但山区输电线路工程受到施工作业机械限制,不得不采取人工挖孔桩基础,但应注意加强安全防护,埋深超过 15 m 时为四级风险。近年来线路工程发生的几起人伤事故都是深基础开挖过程时遇到的,如突遇流砂层或护壁不及时导致塌孔、放炮后即刻下坑清理而毒气伤人等。

在线路迁建(改)工程中,老线路下增设塔基多采取不停电施工,基坑开挖过程中严禁放炮,而大型钻机自身高度受限,桩基础不能采用常规施工方式,只能采用水磨钻施工,施工费用大幅增加。

东部经济发达地区,施工机械临时进场道路需铺设钢栈桥,灌注桩泥浆池布置时要考虑周边环境污染,都对施工技术方案与施工费用产生影响。塘中立塔,塔基不要立在塘中央,也不宜立在两处鱼塘里。

软土地区,挖掘机回填基坑过程中要确保基础立柱稳固不侧移。山区采用高低腿时严禁开方,切忌将塔脚埋入土中。湿陷性黄土或膨胀土应注意地表防水和排水措施的实施工作。煤矿等采空区预留丝扣较长的加长地脚螺栓来调节地基的不均匀沉

降。

2.4 检测

基础质量检测是隐蔽工程中必不可少的一个重要环节,科学的检测是防止基础等隐蔽工程质量问题的有效手段。

开挖类基础的检测主要为混凝土强度和钢筋保护层厚度,已包含在施工质量验收要求中,其中混凝土强度要求 28 d 龄期标准养护试件,若在现场条件养护,其强度试验结果应除以 0.88 后使用^[16]。对不适宜夯实的土壤,回填土应分层填实,密度要求要达到原状土密度的 80% 以上,必要时二次补填^[17],没有必要按密实度控制回填土质量。

原状类基础(掏挖基础、岩石嵌固基础)宜采用声波透射法对桩身完整性进行检测,钻芯法可作为补充检测手段。

桩基础采用低应变、声波透射法、钻芯法检测桩身完整性,采用高应变法判定桩竖向抗压承载力。高应变检测时需注意:第一验收试验的单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 取 $\max\{1.85N_i, 1.54N_{i\max}\}$;第二要保证重锤的重量,不小于 $0.02R_a$ ^[18]。

当下,由于线路工程的点线状特点,为了规避规范^[19]强制性条文要求,挖孔桩基础(人工或机械)被简称为“挖孔基础”,回避工程桩的承载力检验要求。这一“有创意”的独特思路,是否科学,值得我们技术人员反思。如何解决与其他行业之间的技术交流与融合,也需要我们深入探讨。

岩石锚杆基础应进行锚杆抗拔承载力检测,单根锚桩承载力取 $1.6T_{i\max}$ ^[20],检测数量不少于总数的 5%,建议不小于 6 根。

3 基础工程运行维护管理

输电线路建设经历了十余年的快速增长,后特高压时代随着基建投资的回落,线路运行维护将进入崭新的阶段。杆塔除了极端自然灾害(风、雪)受损外,很多杆塔受损都是由于基础的不均匀变形造成的。因此应加强基础工程的健康诊断,提出输电线路基础工程健康状态的综合评价方法,建立监测 + 诊断 + 修复的基础工程产业链一体化运维管理模式。

开挖类基础回填不到位、余土随意堆砌导致表层土体滑塌形成“黄色瀑布”;软土附近堆载导致四个塔腿产生不均匀沉降;突发暴雨冲刷导致河道改道,基础未考虑冲刷而整体失稳;临近道路的斜柱板式基础受到频繁重车荷载的影响,致使基础产生不

均匀沉降而引起上部杆塔构件扭曲变形;城区中临近基坑开挖对已有铁塔基础的影响等等。运行维护中,由于各种人类活动或自然灾害导致的基础不均匀沉降是运行维护技术人员最为头疼的问题,铁塔基础加固修复的原则是“避、抗、拆”,基础加固修复是一项实践性很强的技术,在工程抢险中应边学边做,以理论指导实践、以实践验证理论。

4 基础工程的研究新进展

4.1 研究成果

截至 2018 年底,国网公司在输变电工程设计与施工领域共验收 138 个科技项目,分布在变电站设计、输电线路设计、施工与施工装备研发等三个方向,其中牵涉到输电线路基础的科技项目约 20 个,占比 14%。在基础型式方面,开展了装配式基础、板式直柱基础底板、微型管桩、岩石嵌固基础、山区挖孔类基础的设计技术;在不良地质方面,选取盐渍土、冻土、膨胀土、采动区等开展了工程治理措施研究;在机械化施工方面,研究了全过程机械化施工、基础模块化选型等;还针对抢修工程基础选型、强腐蚀环境下灌注桩基础、基础施工成孔等方面开展了系统研究。

4.1.1 基础选型方向

(1) 装配式基础。提出了装配式基础适用的地质地形条件,通过支架布置型式与连接方式优化了斜置角锥支架的偏心混凝土板条装配式基础,研究了装配式基础的主要运输工具及起重设备,研究了装配式基础的施工质量控制与验收标准。

(2) 板式直柱基础。研究了宽高比 2.5 ~ 4.0 时板式直柱基础的基底土压力分布规律及其正截面弯矩计算方法,提出了板式直柱基础的底板反力分布模型及截面弯矩计算公式。

(3) 岩石嵌固基础。提出了典型岩石地基“等代极限剪切强度”的合理取值,提出了山区岩石嵌固基础边坡保护距离的确定方法,制定了山区输电线路杆塔基础的选型原则。

(4) 山区挖孔类基础。建议深埋嵌岩桩不扩底;影响桩顶水平位移的关键因素是覆盖层厚度和露头高度,其中提高桩径对改善基顶水平位移最为敏感,提高配筋率有些许影响,增加埋深不影响。

(5) 新型基础选择。形成了沙漠地区沉井基础、后注浆灌注桩、掏挖锚杆复合基础、板桩复合基础等环保性基础的工程设计、施工技术。

4.1.2 不良地质灾害及腐蚀方向

(1) 不良地质条件下基础选取。开展了冻土地区钻孔灌注桩基础型式、承载能力、施工工艺研究,研制适用于软土地区的微型预应力混凝土管桩及配套沉桩机械,开展直流输电线路工程冻土基础监测及稳定性分析。

(2) 在腐蚀方向提出了盐渍土和冻土条件下输电线路杆塔基础混凝土配置方法和防腐措施。针对强腐蚀环境下,基于内部防腐角度提出了灌注桩基础的综合技术方法,采用适当防护措施可在线路工程中得到应用。

4.2 未来研究方向

近年来线路基础工程领域取得了系列研究成果,并成功应用于实际工程中,但随着环境问题日益敏感、水土保持日益重视、余土外运无地堆放,良好输电通道规划也变得更加困难,采空塌陷区、高山峻岭区、严寒酷暑区、软土泥沼区等异常复杂的地质条件、地貌环境必然要对现有的相关基础规范进行系列挑战。针对基础工程的科技攻关,基建与运行维护相互配合,提早介入、开展系列化科技项目研究工作,为基础工程的安全稳定提供技术支持。

(1) 水土保持等环保领域。随着同时设计、同时施工、同时投入运行“三同时”的实施,水土保持、环境保护等影响着基础工程的规划、设计及运行维护,目前工程技术措施仍缺乏针对性和可操作性,挡土墙、堡坎的修筑是否有利于水土保持仍有异议,工程量计量与取费仍无详细定额标准,因此应开展集预防和治理于一体的水土保持设计、施工及水土流失防治综合技术措施研究。

(2) 加固修复等健康诊断领域。基础工程的健康诊断、修复加固是未来的热点工程技术,目前尚未有针对线路工程自身特点,提出成套化的基础诊断方法及修复加固技术,指导工程实施。

(3) 基础自身设计技术领域。现有规范已明确规定了各类基础的设计方法,但精细化设计成为必然,而推进标准化设计又成为重中之重,我国国情及行业特点决定了不能给予技术人员太大的自主设计权,因此某些关键课题仍需深入研究、尽早解决。如桩基础应探讨箍筋加密区范围与抗拔系数、地基土水平抗力系数的比例系数等设计参数精准取值等方向,岩石基础应重点在探讨是否取消“岩石等代极限剪切强度”等方向进行攻关,机械化施工的新型螺旋锚基础应重点开展设计计算方法与施工标准化研究,沙漠加筋格栅、水泥固化等措施的长久稳定性问题。

5 结 语

输电线路基础工程的建设要贯彻安全第一、施工可行,适当考虑经济性的原则,规划、基建、运行维护要协调统一,同时要考虑水土保持等环境影响。

在基建阶段,基础命名要统一化、设计要精细化、施工要机械化、检测要标准化。在运行维护阶段,加强巡视及健康诊断,超前预防及治理。

基础工程已取得大量的科研成果,下一步要在水土保持、健康诊断、基础精细化设计等方向深入研究,解决困扰工程建设的系列难题。

参考文献:

- [1] 中国电力企业联合会. 中国电力行业造价管理年度发展报告(2019 年版)[M]. 北京:中国建材工业出版社, 2019.
- [2] 鲁先龙,丁士君,杨文智,等. 沙漠风积沙地基扩展基础抗拔现场试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2017,15(5):20-25.
- [3] 王 滨,李惠民,黄文芳,等. 茂县-银杏 220kV 输电线路沿线地质灾害成因与特征研究[J]. 水利与建筑工程学报,2017,15(5):183-187.
- [4] 洪天妍,郑卫锋,叶 超. 输电线路岩石嵌固基础关键设计参数研究[J]. 水利与建筑工程学报,2018,16(1):150-155.
- [5] 程永锋,邵晓岩,朱全军. 我国输电线路基础工程现状及存在的问题[J]. 电力建设,2002,23(3):32-34.
- [6] 鲁先龙,程永锋. 我国输电线路基础工程现状与展望[J]. 电力建设,2005,26(11):25-27,34.

- [7] 中国电力科学研究院. 输电线路新型环保性基础型式的应用研究[R]. 北京:中国电力科学研究院,2009.
- [8] 架空送电线路设计技术规程:SDJ 3—79[S]. 北京:水利电力出版社,1979.
- [9] 送电线路基础设计技术规定:SDGJ 62—84[S]. 北京:水利电力出版社,1984.
- [10] 架空送电线路基础设计技术规定:DL/T 5219—2005[S]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [11] 国家能源局. 架空输电线路基础设计技术规程:DL/T 5219—2014. [S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- [12] 中华人民共和国环境保护法[M]. 北京:中国法制出版社,2014.
- [13] 中华人民共和国水土保持法[M]. 北京:中国法制出版社,1999.
- [14] 国家能源局. 电网工程建设预算编制与计算规定(2013 年版)[M]. 北京:中国电力出版社,2013.
- [15] 岩土工程基本术语标准:GB 50279—2014[S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- [16] 混凝土结构工程施工质量验收规范:GB 50204—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [17] 韩 崇,吴安官,韩志军. 架空输电线路施工实用手册[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [18] 建筑基桩检测技术规范:JGJ 106—2014[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [19] 建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [20] 郑卫锋,杨文智,满 银. 架空输电线路岩石基础技术规范详解[J]. 智能电网,2015,3(8):771-776.

(上接第 105 页)

- [8] 杨承志,于永军. 高拱坝表孔大梁施工方案研究[J]. 水利水电施工,2014(3):55-56,60.
- [9] 顾 滨,王美懿,宗 原,等. 基于 ANSYS 对丰满水电站重建工程溢流坝预应力闸墩优化方案的研究[J]. 水利水电技术,2016,47(6):80-83,87.
- [10] 李海枫,陈毅峰,徐秀鸣. 基于预应力实测资料的闸墩结构安全评估研究[J]. 水利水电技术,2017,48(9):104-111.
- [11] 李 萌,李守义,程 帅,等. 中墩锚块底部接触方式和锚索优化研究[J]. 水利水电技术,2016,47(12):43-47.
- [12] 何小敏,汪 李,艳张浩. 基于三维非线性有限元分析的某水电站预应力闸墩锚索布置方案[J]. 西北水电,2018(5):92-95.
- [13] 许战军. 某水电站工程预应力闸墩三维有限元分析[J]. 陕西水利,2018(3):239-241.
- [14] 王浩杰,刘晓青. 不同 U 型锚索布置对预应力闸墩应力与变形的影响[J]. 水资源与水工程学报,2019,30(3):208-212.
- [15] 张晓飞,顾东东,简 威,等. 碾压混凝土拱坝温度应力场仿真研究[J]. 水利与建筑工程学报,2016,14(4):93-96.