

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2014.02.032

关于机场飞行区地下水降水的模拟研究

谭晓刚

(中国民航机场建设集团公司西北分公司, 陕西 西安 710075)

摘要: 针对中卫机场地下水水位过高的问题,通过对场区水文地质条件的分析,以三维非稳定地下水的数学模型为基础,使用 Visual MODFLOW 软件对机场地下水流场以及修建截水沟对场区地下水水位的影响进行模拟。模拟结果表明:开挖截水沟可以有效的降低场区地下水水位,并满足地下水水位临界高度 2.0 m 的要求;场区水位受下游北干渠水位的影响较大,应充分考虑下游水位对降水效果的影响;地下水水位下降达到最终状态所需时间较长(大于 1 年),下降速率随时间的增长而逐渐降低,截水沟应在场区土方工程开工前一段时间开挖完成。

关键词: 机场;地下水水位;截水沟;Visual MODFLOW;三维数值模拟

中图分类号: TU46⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2014)02—0156—06

Simulation Study on Underground Water Precipitation in Airfield

TAN Xiao-gang

(Northwest Branch of Airport Construction Group Corporation of China's Civil Aviation, Xi'an, Shaanxi 710075, China)

Abstract: Aiming at the problem of the higher underground water level in Zhongwei Airport, through analyzing its hydro-geological conditions, and based on the mathematical model of three-dimensional unsteady underground flow, the Visual MODFLOW was applied to simulate the influences of the underground water level caused by both the groundwater flow field and the construction of cutoff ditches. The results illustrate that it is effective for the ditch excavation to lower the groundwater level in the airport area, which could meet the requirement for the critical height of 2.0 meters. The water level is greatly affected by the north canal's water level in the downstream, so the influence of the downstream water level should be considered. It would take a long time (greater than 1 year) to reach the final state for level falling, and the falling rate would decreased gradually along with the time increasing, therefore, the cutoff ditches should be finished for a period before the beginning of earthwork construction.

Keywords: airport; groundwater level; cutoff ditch; Visual MODFLOW; 3D numerical simulation

随着我国民航事业的快速发展和西部大开发战略的深入实施,民用机场的建设数量将不断增多,机场建设所面临的工程地质情况也越来越复杂。如何解决中细砂高水位场地对机场建设的施工及使用带来的影响,成为亟待解决的问题。在目前的工程实践中,为解决机场建设工程中地下水水位较高的问题,常采取抬高跑道的的设计高程和降低地下水水位两种主要措施。由于机场工程中飞行区其自身独有的特点(横断面宽度大,一般在 210 m ~ 340 m 之间;坡度控制要求严格等),使得采取抬高跑道设计高程的措施土方工程量较大,工程投资较大。

与抬高跑道设计高程相比,降低地下水位的措施显得较为经济,但也存在降水措施是否能够满足工程需要,降水引起的地面不均匀沉降对周围建筑物的危害等问题。目前,常用的修建盲沟及截水明沟等降水措施是否能长期有效的达到降低水位,满足工程需要的效果并不明显,因此国内主要采用求解解析解方法,对场地地下水流态主要采用二维流进行计算,验证所采用措施的可行性^[1-2]。数值模拟的最大优点在于能够刻画非均质、不等厚以及复杂的水文地质条件^[3-5],并将水质模型、水流模型以及地下水流线方程等耦合在一起,通过强大的数学统

计工具,可对模型校验和计算过程进行深入分析^[6-10]。国际上较为通用的地下水数值模拟模型为 MODFLOW 模型,较有影响的包括基于 MODFLOW 开发的 Visual MODFLOW、GMS,以及基于有限元法的 FEFLOW 软件等。

中卫机场地下水水位较高,对施工及使用均带来较大影响。为此,本文对中卫机场地下水水位情况进行了详细分析,以地下水运动的数学模型为理论基础,使用 Visual MODFLOW 模拟了中卫机场地下水水位变化情况,对截水沟在降低场区地下水水位方面的功能进行分析和评估,使工程安全可靠,经济合理。

1 场地水文地质条件

中卫机场地面标高介于 1 231.07 m ~ 1 245.41 m 之间。场地范围地层自上而下依次为耕土、第四系全新统风积粉细砂、洪积粉细砂及圆砾,风积粉细砂中夹杂有厚度不等的粉土、粉质粘土夹层(厚度 0.4 m ~ 7.0 m),不同土质间渗透系数差异较大。场地地下水稳定埋深 0.00 m ~ 2.20 m,局部地区上升到地面,标高 1 230.26 m ~ 1 244.44 m,属潜水类型,主要受场地西北部湖水及灌溉水补给,其地下水位年变化幅度也主要受此控制。场地北侧约 1 400 m 处为场区地下水的直接补给区——千岛湖及美利湖,南侧有一条由西南流向东北的北干渠,为地下水的主要排泄区,东端最近处距跑道端约 300 m。地下水总体流向为由西北流向东南,与地形基本一致。

为保证道槽土基的强度和稳定性,防止地下水浸入道槽土基,满足规范对土基处于干燥或中湿状态的要求,按照公路自然区划划分,该场地道槽底部距丰水期地下水位的距离至少应大于 2 m。

2 Visual MODFLOW 简介

由加拿大 Waterloo 水文地质公司在 MODFLOW 的基础上开发研制的 Visual MODFLOW,是目前国际上较为流行且被各国同行一致认可的三维地下水流和溶质运移模拟评价的标准可视化专业软件系统^[11]。该系统在无缝集成 MODFLOW - 96、WinPEST、MT3D99、MODPATH(平面和剖面流线示踪分析)、RT3D 等软件的基础上,建立了系统合理的 Windows 菜单界面与可视化功能。增强模型数值模拟能力、简化三维建模复杂性,是 Visual MODFLOW 软件系统界面设计的主要目的。

3 模拟区的水文地质建模

模拟主要针对不同工况,评估截水沟在降低地下水水位方面的作用。在模拟过程中,以区域水文地质条件为依据,同时充分考虑地下水系统的完整性和独立性,确定地下水流场模拟范围。假定本文采用的坐标系统为: X 轴与跑道中心线重合; Y 轴为过跑道西端边界的直线; Z 轴为铅垂线,底部边界海拔高度为 1 200 m(下文图表中 Z 轴高程均省写 1 200 m)。模拟区域包括:机场场区、场区潜层地下水的补给区,场区潜层地下水的排泄区(地下水补给区为场区北侧的千岛湖及美利湖,排泄区为场区南侧的北干渠,不考虑降水补给)。通过对中卫机场及其周围地形地貌的分析,确定模拟的范围为北边界 $Y = 1 400$ m,南边界 $Y = -1 600$ m,西边界 $X = -1 320$ m,东边界 $X = 4 200$ m,如图 1 所示。根据渗流系数的不同, Z 方向主要分为两层:①层渗流系数为 1 m/d,②层渗流系数为 5 m/d。湖泊水位恒定为 47 m,截水沟位于跑道中线北侧 180 m 处,平均坡度为 0.5%,北干渠平均坡度为 0.5%,在截水沟出水口处渠底高为 26.61 m。

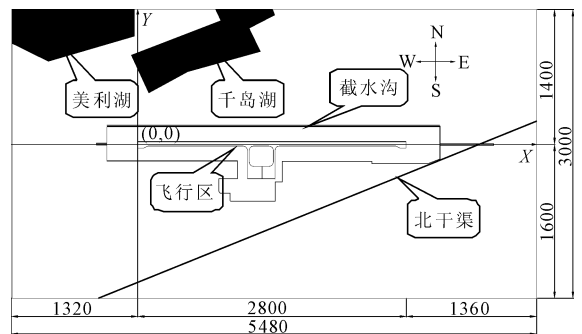


图 1 模拟区域示意图(单位:m)

根据研究区域大小及计算精度要求,采用长方体单元对模型进行剖分,基本上每个剖分单元的大小为在 X 方向为 20 m, Y 方向上为 20 m, Z 方向为 15 m ~ 25 m。为更加精确地模拟跑道中线处的地下水位,在 $Y = -20$ m ~ 10 m 和 0 ~ 10 m 上为 Y 方向长 10 m 的单元;考虑到纵向截水沟的沟宽为 3 m,在 $Y = 180$ m ~ 183 m 为 Y 方向长 3 m 的单元;考虑到横向截水沟的沟宽为 3 m,在 $X = 3 440$ m ~ 3 450 m 和 3 450 m ~ 3 453 m 为 X 方向长 10 m 和 3 m 的单元。

根据对比场区的模拟初始水位与实测地下水位后发现,跑道中线处 75% 以上的节点模拟地下水位与实测地下水位的误差小于 0.5 m,满足相应的规

范要求,结构模型及边界条件等可用于场区的地下水水位预测。

4 工况模拟

为评估截水沟降低跑道道槽土基地下水水位的能力,需模拟场区道槽土基流场随北干渠水位的变化。

4.1 工况一

北干渠在非灌溉季节时,渠内水深保持在 0.5 m;截水沟正常情况下,沟内水深为 0.5 m。初始阶段,模拟区内的地下水水位如图 2 所示。设置截水沟后的地下水水位如图 3 所示。开挖截水沟前后,跑道中心处地下水水位高程以及槽底高程对比关系如图 4 所示。

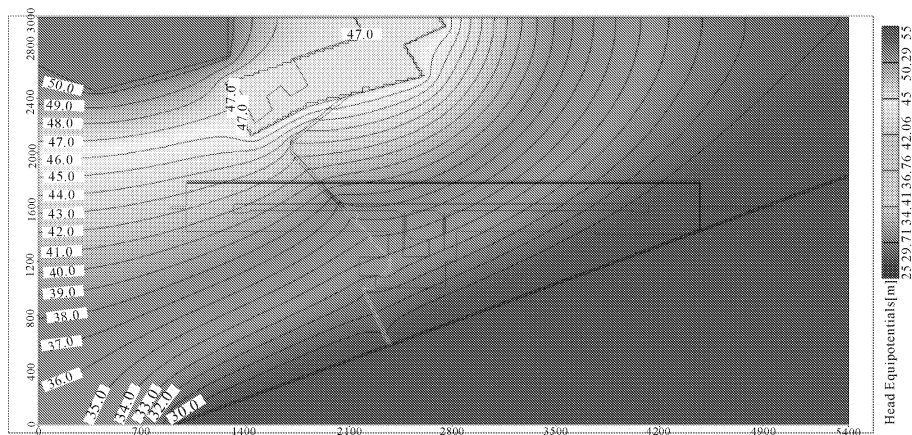


图 2 无截水沟恒定流场水位分布平面图(北干渠水深 0.5 m)

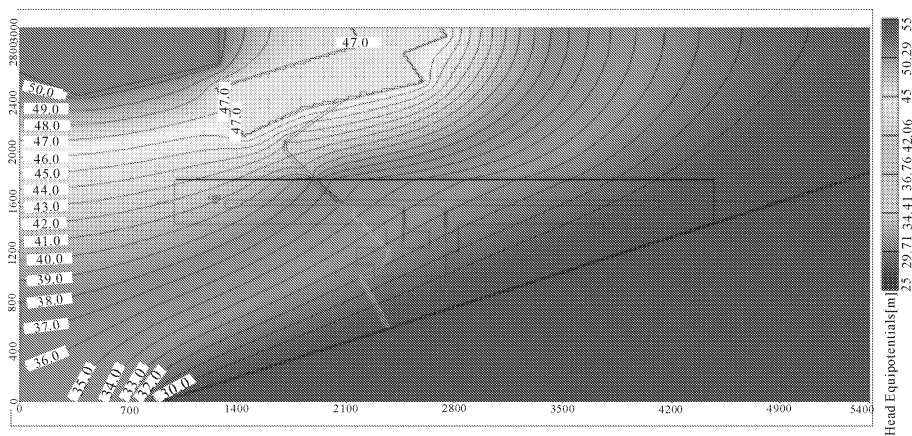


图 3 设置截水沟后恒定流场水位分布平面图(工况一)

计算结果显示:设置截水沟可以明显降低跑道中心线处的地下水水位。从图 4 中可知:沿跑道中心线 $Y = -80 \text{ m} \sim 2800 \text{ m}$ 的范围内(范围确定主要考虑有实测数据),与模拟初始水位相比,最大降低 2.28 m,最小为 0.27 m,平均降低 1.24 m;与实测初始水位相比,最大降低 3.34 m,最小为 0.50 m,平均降低 1.86 m;槽底设计标高至降低后水位的距离最大为 5.11 m,最小为 4.42 m,平均为 3.84 m。由上述分析可知,截水沟在降低场区道槽土基处地下水水位方面效果明显,可以满足土基临界高 2.0 m 的规范要求。

4.2 工况二

北干渠在灌溉季节时,渠内水深保持在 2 m;截水沟正常情况下,沟内水位为 0.5 m。初始阶段,模拟区的地下水水位如图 5 所示。设置截水沟后的地下水水位如图 6 所示。开挖截水沟前后,跑道中心处地下水水位高程以及槽底高程对比关系如图 7 所示。

计算结果显示:设置截水沟可以明显降低跑道中心线处的地下水水位。从图 7 中可知:沿跑道中心线 $Y = -80 \text{ m} \sim 2800 \text{ m}$ 的范围内,与模拟初始水位相比,最大降低 2.43 m,最小为 0.22 m,平均降低 1.46 m;与实测初始水位相比,最大降低 3.11 m,最小为 0.63 m,平均降低 1.56 m;槽底设计标高至降

低后水位的距离最大为 4.92 m, 最小为 3.15 m, 平均为 4.12 m。由上述分析可知, 截水沟在降低场区道基处地下水位方面效果明显, 可以满足土基临界高 2.0 m 的规范要求。

不变时, 场区内地下水位受北干渠水位的影响较大, 尤其是在场区东端, 距离北干渠较近, 其截水沟出口部分受北干渠水位顶托, 北干渠水位变动对场区地下水水位的影响最为明显。

对比上述两种工况可知: 当截水沟位置及水位

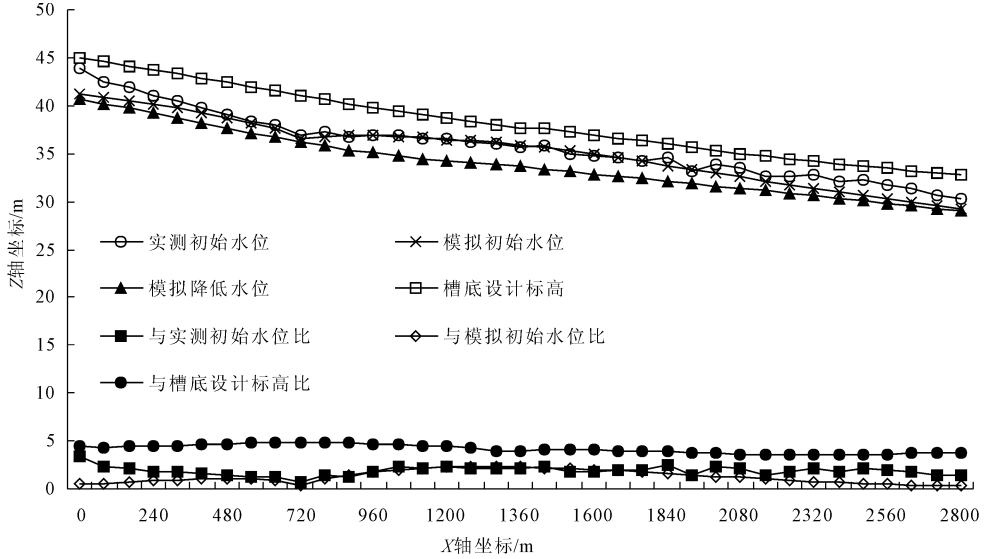


图 4 截水沟降低跑道中心线处水位效果图(工况一)

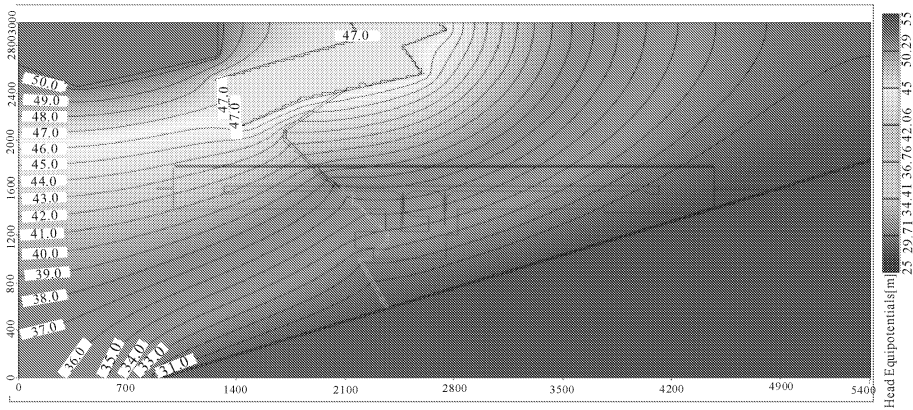


图 5 无截水沟恒定流场水位分布平面图(北干渠水深 2 m)

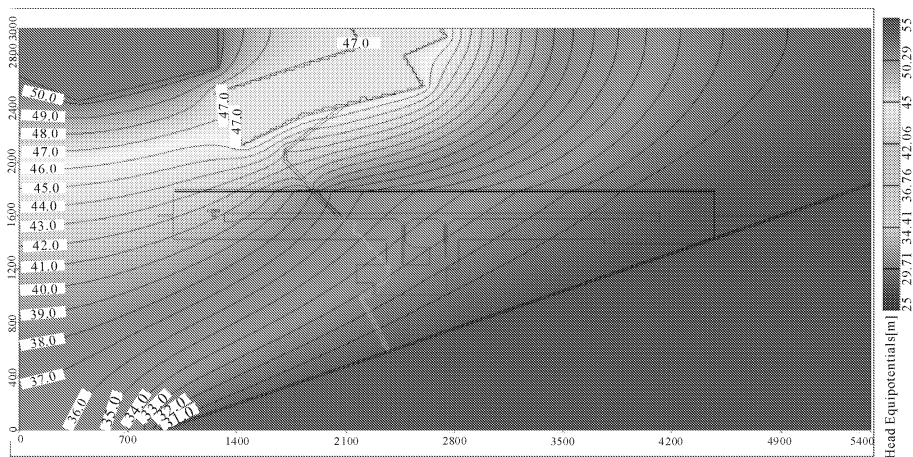


图 6 设截水沟后恒定流场水位模拟平面图(工况二)

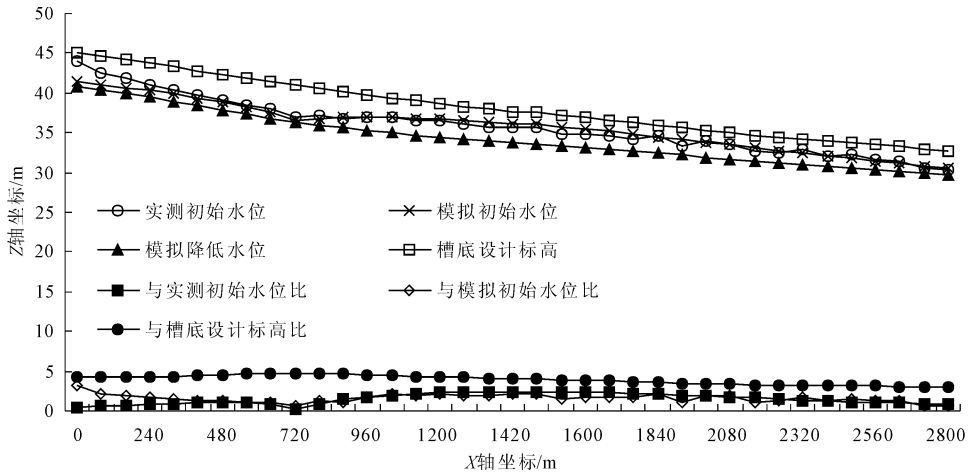


图 7 截水沟降低跑道中心线处水位效果图(工况二)

5 截水沟降低场区水位历时计算

为评价截水沟降低地下水位的能力,除考虑其最终降低水位外,还需考虑达到这一状态所用时间。通过上述分析,在沟内水深恒定的情况下,北干渠的水深对场区地下水起控制作用。

5.1 工况一

以跑道中心线为分析对象,选择地下水位降低最大的点位作为评价对象。通过对比(详见图 4)后点位选择为距跑道端 1 240 m,最终稳定时降低地下水位为 2.28 m。地下水位随时间变化曲线见图 8,具体数值见表 1。

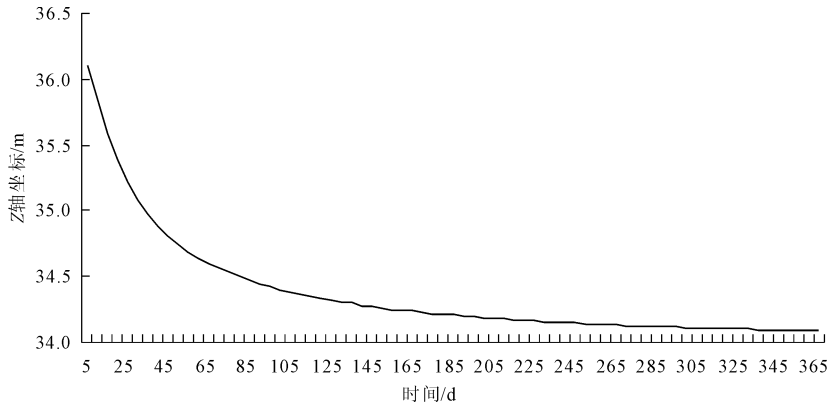


图 8 地下水降低过程曲线(工况一)

表 1 地下水降低过程表(工况一)

天数 /d	水位 /m	水位降低量 /m	占最终水位降低量/%	天数 /d	水位 /m	水位降低量 /m	占最终水位降低量/%
5	36.11	0.21	9.25	190	34.20	2.12	92.95
25	35.22	1.10	48.45	210	34.18	2.14	93.97
45	34.81	1.51	66.43	230	34.16	2.16	94.80
70	34.56	1.76	77.25	255	34.14	2.18	95.66
95	34.42	1.90	83.23	280	34.12	2.20	96.36
120	34.34	1.98	87.06	305	34.11	2.21	96.93
145	34.27	2.05	89.74	330	34.10	2.22	97.40
170	34.23	2.09	91.72	355	34.09	2.23	97.78
185	34.21	2.11	92.67	365	34.09	2.23	97.91

计算结果显示:当开挖截水沟后第 365 d 时,计算点位处的地下水位尚未达到有截水沟时最终稳定

状态下的地下水位,降低量约占最终降低量的 97.91%。在第 125 d 时,地下水位与初始水位相比

降低约 2.0 m,为最终稳定下降量的 87.76%。

5.2 工况二

以跑道中心线为分析对象,选择地下水位降低

最大的点位(1 420,0)作为评价对象。初始条件与工况一相同,地下水位随时间变化数值见表 2,降低幅度最终为 2.43 m。

表 2 地下水降低过程表(工况二)

天数 /d	水位 /m	水位降低量 /m	占最终水位 降低量/%	天数 /d	水位 /m	水位降低量 /m	占最终水位 降低量/%
5	35.88	0.23	9.34	190	33.81	2.30	94.57
25	34.93	1.18	48.51	210	33.79	2.32	95.49
45	34.48	1.63	67.08	230	33.77	2.34	96.23
70	34.20	1.91	78.57	255	33.75	2.36	96.97
95	34.05	2.06	84.88	280	33.74	2.37	97.54
120	33.95	2.16	88.83	305	33.73	2.38	97.99
145	33.89	2.22	91.50	330	33.72	2.39	98.35
170	33.84	2.27	93.41	355	33.71	2.40	98.63
185	33.82	2.29	94.30	365	33.71	2.40	98.72

计算结果显示:当开挖截水沟后第 365 d 时,计算点位处的地下水位尚未达到有截水沟时最终稳定状态下的地下水位,降低量约占最终降低量的 98.72%。在第 85 d 时,地下水位与初始水位相比降低约 2.0 m,为最终稳定下降量的 82.74%。

从上述计算分析可知,地下水位下降达到最终状态所需时间较长(大于 1 年),下降速率随时间的增长而逐渐降低,工程建设时不必等到地下水位最终稳定后才开始施工,当场区地下水位满足规范要求后即可开始施工。

6 结 论

(1) 开挖截水沟可以有效的降低场区地下水位。沿跑道中心线,地下水位平均降低 1.24 m ~ 1.56 m,距槽底平均 3.84 m ~ 4.12 m,可以满足临界高度不小于 2.0 m 的规范要求。

(2) 当截水沟位置及水位不变时,场区内地下水位受北干渠水位的影响较大,尤其在场区东端,距离北干渠较近,其截水沟出口部分受北干渠水位顶托,北干渠水位变动对场区地下水位的影响最为明显。

(3) 地下水位下降达到最终状态所需时间较长(大于 1 年),下降速率随时间的增长而逐渐降低,工程建设时不必等到地下水位最终稳定后才开始施工,当场区地下水位满足规范要求后即可开始施工。

本文利用 Visual MODFLOW 软件对中卫机场飞行区地下水水位及降水效果进行计算模拟,得到了上述计算结果。经机场建设时实施过程及机场安全运行近 5 年后的验证发现,水位降低程度及所需时间与计算结果较为吻合,通过降低地下水水位的措施成功解决了该机场原地面地下水水位过高的工程

问题,可以为其他高水位地区的机场建设提供部分的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 彭涛,詹松.三维地下水数值模拟方法在基坑涌水量预测中的应用——以广州地铁某基坑为例[J].工程勘察,2005,(3):20-23.
- [2] 贺国平,邵景力,崔亚莉,等.FEFLOW 在地下水流模拟方面的应用[J].成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(4):356-361.
- [3] 李宏卿,吴琼,张福林,等.Visual Modflow 在建立长春市地下水开采预警系统中的应用[J].吉林大学学报(地球科学版),2003,33(3):319-322.
- [4] 胡轶,谢水波,蒋明,等.Visual Modflow 及其在地下水模拟中的应用[J].南华大学学报(自然科学版),2006,20(2):1-5.
- [5] 刘永良,潘国营.基于 Visual Modflow 的岩溶水疏降流场模拟和涌水量预测[J].河南理工大学学报(自然科学版),2009,28(1):51-54.
- [6] 武强,董东林,武钢,等.水资源评价的可视化专业软件(Visual MODFLOW)与应用潜力[J].水文地质工程地质,1999,26(5):21-23.
- [7] 岑国平.机场排水设计[M].北京:人民交通出版社,2005:170-334.
- [8] 李义昌.地下水动力学[M].北京:中国矿业大学出版社,1995:5-38.
- [9] 赵江.路基路面在降雨条件下渗流分析及边坡稳定性研究[D].昆明:昆明理工大学,2005.
- [10] 娄一青,郑东健,岑黛蓉.降雨条件下边坡地下水渗流有限元分析[J].水利与建筑工程学报,2007,5(1):5-7,15.
- [11] 徐乐昌.地下水常用模拟软件介绍[J].铀矿冶,2002,21(1):33-38.