

紫萍铺水利枢纽引水发电洞进水口边坡预应力锚索锚固效应分析

徐湘涛^{1,2}, 汪家林^{1,2,3}, 王运生^{1,2}, 李明好³, 江志明³

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059;
2. 地质灾害防治与环境保护国家专业实验室, 成都 610059; 3. 成都极星工程有限公司, 成都 610059)

摘 要: 四川岷江紫坪铺水利枢纽工程引水发电洞进水口边坡布置了大量预应力锚索进行加固, 同时安装了 13 台锚索测力计对锚索进行监测, 安装了 4 支多点位移计对边坡变形情况进行监测。在对锚索测力计和多点位移计监测资料整理分析的基础上, 重点分析了预应力锚索对边坡的锚固效应, 为该边坡的稳定性分析提供了必要的判别依据。
关键词: 紫萍铺水利枢纽; 边坡; 预应力锚索; 监测; 锚固效应

中图分类号: TV 732. 1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2006) 01-0200-04

Analysis for Anchoring Effect of Prestress Anchors in Intake Slope Located at Diversion Cave of Zipingpu Hydroproject

XU Xiang-tao^{1,2}, WANG Jia-lin^{1,2,3}, WANG Yun-sheng^{1,2}, LI Ming-hao³, JIANG Zhi-ming³

(1. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;
2. National Laboratory of Geological Hazard Prevention & Geological Environment Protection, Chengdu 610059, China;
3. Chengdu GeoStar Engineering Co. Ltd., Chengdu 610059, China)

Abstract: Vast prestress anchors are arranged in intake slope located at diversion cave of Zipingpu hydroproject. These anchors are monitored by thirteen anchor monitors. Four multi-point displacement meters are installed to monitor the deformation of the slope. Based on datum drawn from anchor monitors and multi-point displacement meters, the effect of anchor cables anchoring the slope is studied. The necessary criteria are supplied to analyze the stability of the slope.
Key words: Zipingpu hydroproject; slope; prestress anchors; monitoring; anchoring effect

1 工程概况

四川岷江紫坪铺水利枢纽工程引水发电洞进水口边坡, 位于岷江沙金坝河段右岸条形山脊端部, 沙金坝向斜的北西翼, 该段边坡岩体层间剪切破碎带和断层、夹层众多, 节理裂隙发育; 因工程需要, 开挖形成高约 120 m 的近直立边坡, 同时在开挖及支护过程中, 边坡局部先后发生不同程度的变形、塌方和滑坡等^[1]。

为了加强边坡的整体稳定性, 控制边坡开挖后的岩体变形, 以满足引水发电洞开挖及后期运营的稳定和变形要求, 布置了大量的预应力锚索, 同时在施工过程中采用了挂网及锚喷支护等技术措施。为了检测和评价预应力锚索的支护效果、了解锚索的工作状态和预应力变化过程, 并综合分析边坡的稳定性动态, 选取了一定比例的各吨位锚索安装预应力锚索测力计进行监测, 本文重点对预应力锚索加固边坡的锚固效应进行分析评价。

2 监测仪器的选用与布置

2.1 锚索测力计的选用与布置

根据边坡的工程地质特点, 引水发电隧洞进口边坡布置了 44 束 3 000 kN 级锚索、119 束 2 000 kN 级锚索、144 束 1 500 kN 级锚索, 共计 307 束。由于施工较早, 边坡高程

825.0 m ~ 877.0 m 段未布置测力计。在余下的 252 束中(其中 2 000 kN 级锚索为 88 束, 1 500 kN 级锚索为 164 束), 在不同高程共选择 13 束锚索布置锚索测力计以监测其锚固效应, 编号依次为 AIP1 ~ 13(其中 AIP1 ~ 7 的量程为 2 000 kN, AIP8 ~ 13 的量程为 1 500 kN), 监测范围达到了 5.2%^[2]。本工程选用北京基康仪器公司生产的 BGK-4900 型振弦式锚索测力计, 具体布置情况如图 1 所示。锚索测力计自 2003 年 3 月 28 日开始安装, 2003 年 5 月 2 日安装完毕。

2.2 多点位移计的选用与布置

为了监测边坡的滑动和蠕变变形状况以及预应力锚索的锚固效应, 掌握其变形特征及规律, 预测预报边坡位移、变形的发展趋势, 在该边坡洞脸坡部位共布置了 4 支多点位移计进行监测, 编号依次为 MIP1 ~ 4。本工程选用美国 Geokon 公司生产的 GKA6-4 四点式位移计(量程为 100mm), 具体布置情况如图 1 所示。多点位移计自 2002 年 11 月 12 日开始安装, 2002 年 11 月 30 日安装完毕。

2.3 简易观测仪器的选用与布置

在边坡开挖过程中, 2003 年 1 月中旬和 4 月, 工程区洞脸坡和侧向坡先后发生过变形、崩塌、滑坡及拉裂等现象, 在地表可见由单条裂缝首尾相叠构成的裂缝带。为了进一步观测裂缝的动态变化情况, 了解其变化发展趋势, 2003 年 3 月始在 876 m 平台裂缝和 885 m 平台裂缝部位共布置了 9 支

¹ 收稿日期: 2005-03-25
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40472143)
作者简介: 徐湘涛(1978-), 男, 硕士, 主要从事土木工程和地质工程的研究工作。

简易测缝计进行观测, 编号依次为 J1 ~ J9; 同时对 876 m 平台的部分裂缝粘贴了 11 块玻璃片, 编号依次为 C1 ~ C11。简

易测缝计和玻璃片的具体布置情况如图 2 所示。

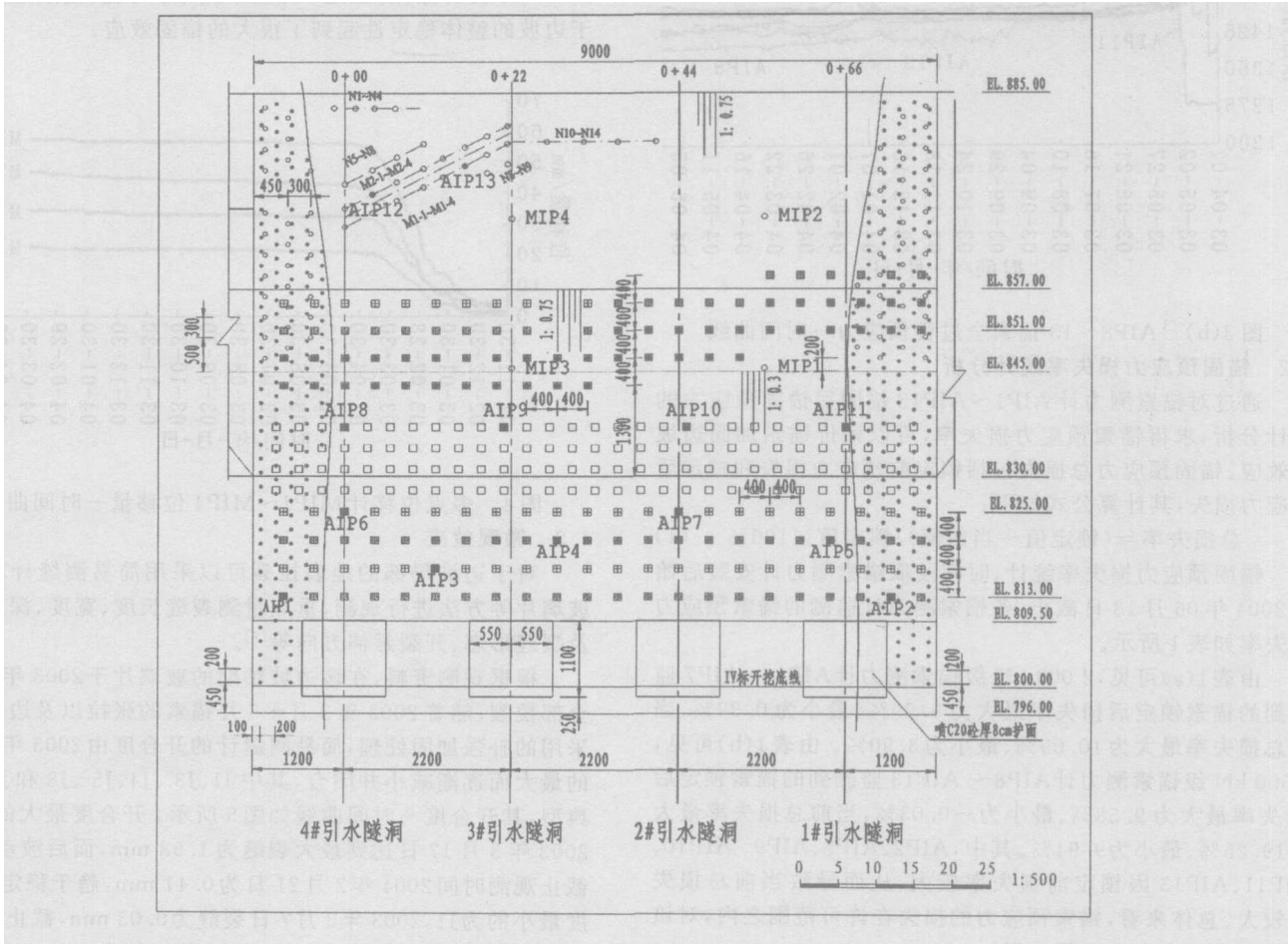


图 1 引水发电隧洞进口边坡监测仪器布置立面示意图

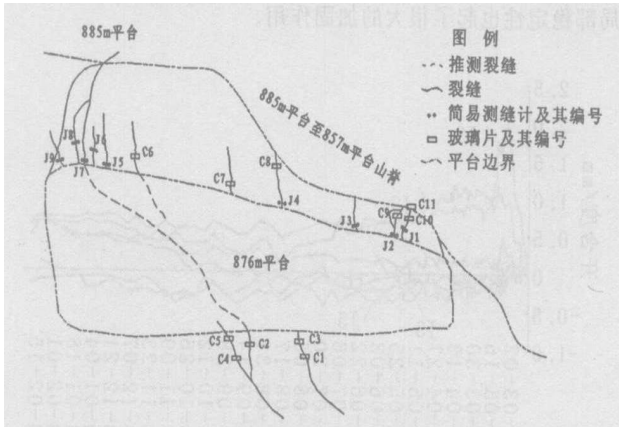


图 2 876 m 平台裂缝简易观测布置示意图

3 锚索测力计监测成果分析

3.1 锚索全过程预应力- 时间曲线

锚索预应力的变化受锚索锁定、岩体徐变、施工扰动、温度变化等多种因素^[2]影响, 在张拉时一般超张拉 10%^[3], 比较典型的锚固预应力变化过程大致可分为预应力速损、预应力波动变化和预应力平稳变化等三个阶段^[4]。锚索锁定后预应力损失较大则需要补偿张拉, 补偿张拉应在锁定后经过一定的损失期后进行^[5]。

锚索测力计 AIP1 ~ AIP7、AIP8 ~ AIP13 的预应力- 时间曲线如图 2 所示。由图 3(a) 中可见, 锚索预应力在锁定后有

所损失, 而后逐渐趋于平缓; 在 2003 年 10 月 ~ 2004 年 01 月期间, 由于边坡开挖后采用了挂网及锚喷支护、锚筋束加固、固结灌浆、预应力锚索加固、边坡排水及混凝土贴坡封闭等综合的补强加固处理^[1], 锚索预应力有所回升; 而后进入波动变化阶段, 直至趋于平稳变化。由图 3(b) 中可见, 在锚索锁定后, AIP10、AIP11 和 AIP13 预应力损失较大, 进行了补偿张拉; 在 2003 年 10 月 ~ 2004 年 01 月期间, 同样受边坡加固处理的影响而有所波动, 但幅度较 AIP1 ~ AIP7 小, 而后趋于平稳变化。

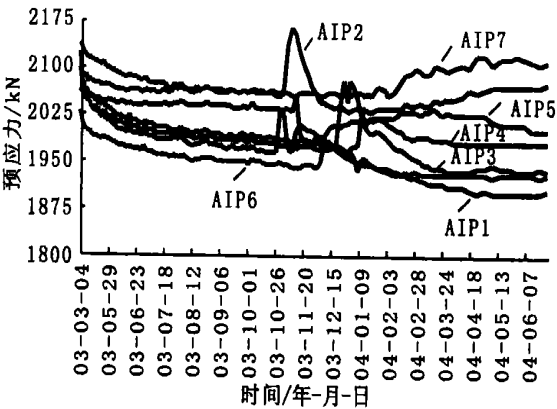


图 3(a) AIP1 ~ 7 锚索全过程预应力- 时间曲线

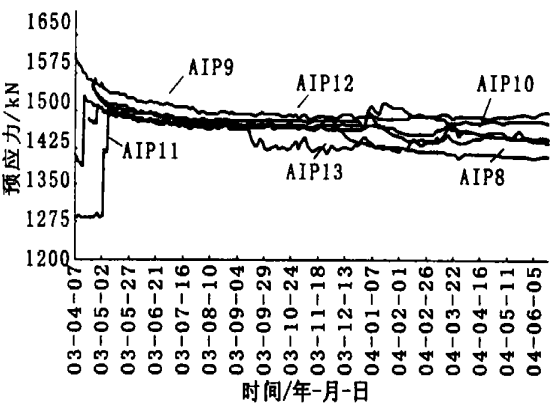


图 3(b) AIP8 ~ 13 锚索全过程预应力- 时间曲线

3.2 锚固预应力损失率统计分析

通过对锚索测力计 AIP1 ~ AIP13 锚固后锚固预应力的统计分析,求得锚索预应力损失率,可以评价锚索加固边坡的效应。锚固预应力总损失包括锁定前预应力损失和锁定后预应力损失,其计算公式如下:

总损失率= (锁定值- 当前值)/ 锁定值 × 100% (1)

锚固预应力损失率统计,时间段取锚索测力计安装后始至 2004 年 06 月 18 日截止,各锚索测力计监测的锚索预应力损失率如表 1 所示。

由表 1(a) 可见,2 000 kN 级锚索测力计 AIP1 ~ AIP7 监测到的锚索锁定后损失率最大为 9.99%、最小为 0.39%,当前总损失率最大为 10.09%、最小为 3.90%。由表 1(b) 可见,1 500 kN 级锚索测力计 AIP8 ~ AIP13 监测到的锚索锁定后损失率最大为 9.58%、最小为 - 0.03%,当前总损失率最大为 19.25%、最小为 9.94%。其中,AIP2、AIP8、AIP9、AIP10、AIP11、AIP13 因锁定前损失率较大,从而导致当前总损失率较大。总体来看,锚索预应力的损失在许可范围之内,对该边坡起到了应有的锚固作用。

表 1(a) AIP1 ~ 7 锚固预应力损失率统计分析

测点编号	AIP1	AIP2	AIP3	AIP4	AIP5	AIP6	AIP7
龄期/d	217	228	216	217	230	217	219
锁定值/kN	2123.8	2125.7	2099.0	2129.7	2113.4	2058.0	2151.8
当前值/kN	1898.8	2068.2	1937.7	1978.0	2002.0	1925.9	2104.6
总损失率/%	10.59	2.70	7.68	7.12	5.27	6.42	2.19

表 1(b) AIP8 ~ 13 锚固预应力损失率统计分析

测点编号	AIP8	AIP9	AIP10	AIP11	AIP12	AIP13
龄期/d	226	226	233	211	243	221
锁定值/kN	1554.1	1551.7	1515.9	1504.5	1560.3	1506.0
当前值/kN	1407.9	1444.1	1435.7	1477.4	1497.4	1444.9
总损失率/%	9.41	6.93	5.29	1.80	4.03	4.06

4 锚索锚固效应分析

4.1 宏观效应

预应力加固高边坡的效应主要反映在锚固岩土体物理力学性质的改善,而岩土体物理力学性质的提高主要反映在岩体的应力状态的改变、岩体抗剪强度参数的提高、岩体弹性模量的提高、抗震能力的提高和渗透系数的降低等方面^[2,6]。

在边坡锚索附近共布置有 4 支多点位移计用于监测边坡随开挖进度而变形的趋势,多点位移计的位移量- 时间曲

线如图 4 所示。由图 4 可以看出,随着边坡开挖进度的进行,边坡于 2003 年 1 月份变形量逐渐增大,至 2004 年 4 月份开始趋于稳定,最大位移量为 56.72 mm。而边坡锚索大部分于 2003 年 3 月开始张拉,至 5 月基本完毕。可见,锚索的张拉对于边坡的整体稳定性起到了很大的锚固效应。

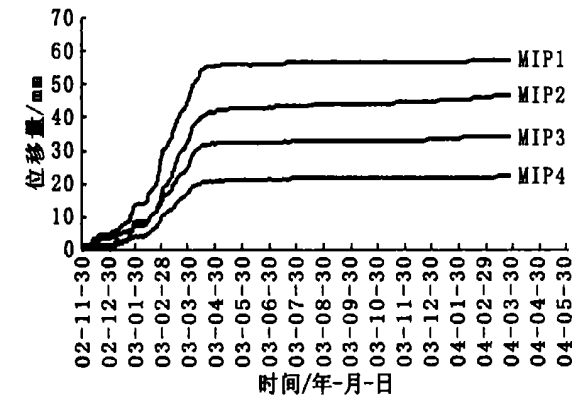


图 4 多点位移计 MIP1 ~ MIP4 位移量- 时间曲线

4.2 微观效应

对于边坡局部的地表拉裂可以采用简易测缝计和粘贴玻璃片等方法进行观测,重点量测裂缝长度、宽度、深度变化及裂缝形态、开裂延伸方向等^[7]。

根据观测资料,在该边坡粘贴的玻璃片于 2003 年 3 月份全部拉裂;随着 2003 年 3 月 ~ 5 月锚索的张拉以及边坡开挖采用的补强加固处理,简易测缝计的开合度由 2003 年 3 月份的最大而逐渐减小并闭合,其中 J1、J3、J4、J5、J8 和 J9 较为典型,其开合度- 时间曲线如图 5 所示。开合度最大的为 J8,2003 年 3 月 17 日达到最大裂缝为 1.98 mm,而后波动变化,截止观测时间 2004 年 2 月 21 日为 0.41 mm,趋于稳定。开合度最小的为 J1,2003 年 3 月 7 日裂缝为 0.03 mm,截止观测时间 2004 年 2 月 21 日为 - 0.17 mm,趋于闭合。

由此可见,锚索的张拉以及综合补强加固处理对于边坡局部稳定性也起了很大的加固作用。

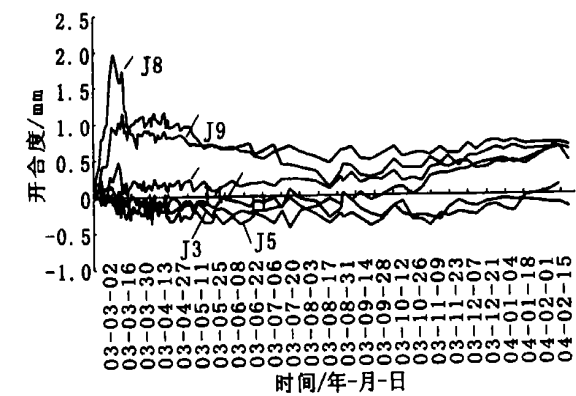


图 5 简易测缝计开合度- 时间曲线

5 小 结

(1) 锚索在张拉时进行超张拉 10%,其预应力损失率最好控制在 10% 以内,否则应对预应力锚索进行补偿张拉,以满足其设计强度、增强其锚固效应。

(2) 挂网及锚喷支护、锚筋束加固、固结灌浆、预应力锚索加固、边坡排水及混凝土贴坡封闭等综合的补强加固处理,对于锚索预应力有一定积极影响作用。

(3) 在对边坡进行预应力锚固的同时, 应对 5% ~ 10% 的锚索进行长期监测, 同时应辅以多点位移计从宏观效应监测其锚固效应, 辅以简易测缝计从微观效应监测其锚固效应。

(4) 预应力锚索的布置, 抑止和调整了边坡岩体的变形, 对于边坡的整体稳定性和局部稳定性都起到了应有的锚固效应。

参考文献:

[1] 张伯夷, 姚建成, 吕文强. 紫坪铺工程引水洞进口边坡综合支护施工[J]. 四川水利发电, 2004, 23(2): 53- 56.

[2] 赵长海. 预应力锚固技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.

[3] 付仲润, 李治国. 预应力锚索在高边坡施工中的应用[J]. 隧道建设, 2000, (3): 14- 18.

[4] 陈绪春, 张曙光. 三峡工程双线五级船闸高边坡预应力锚索监测成果分析[J]. 大坝与安全, 2004, (4): 29- 32.

[5] 黄福德. 高边坡群锚加固中锚索体的动态受力特征[J]. 西北水电, 1997, (4): 33- 37.

[6] 李军, 卞鹏, 张宏博. 滑坡体预应力锚固效应及变化规律研究[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2003, 17(1): 21- 24.

[7] 夏才初, 潘国荣, 等. 土木工程监测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

(上接第 191 页)

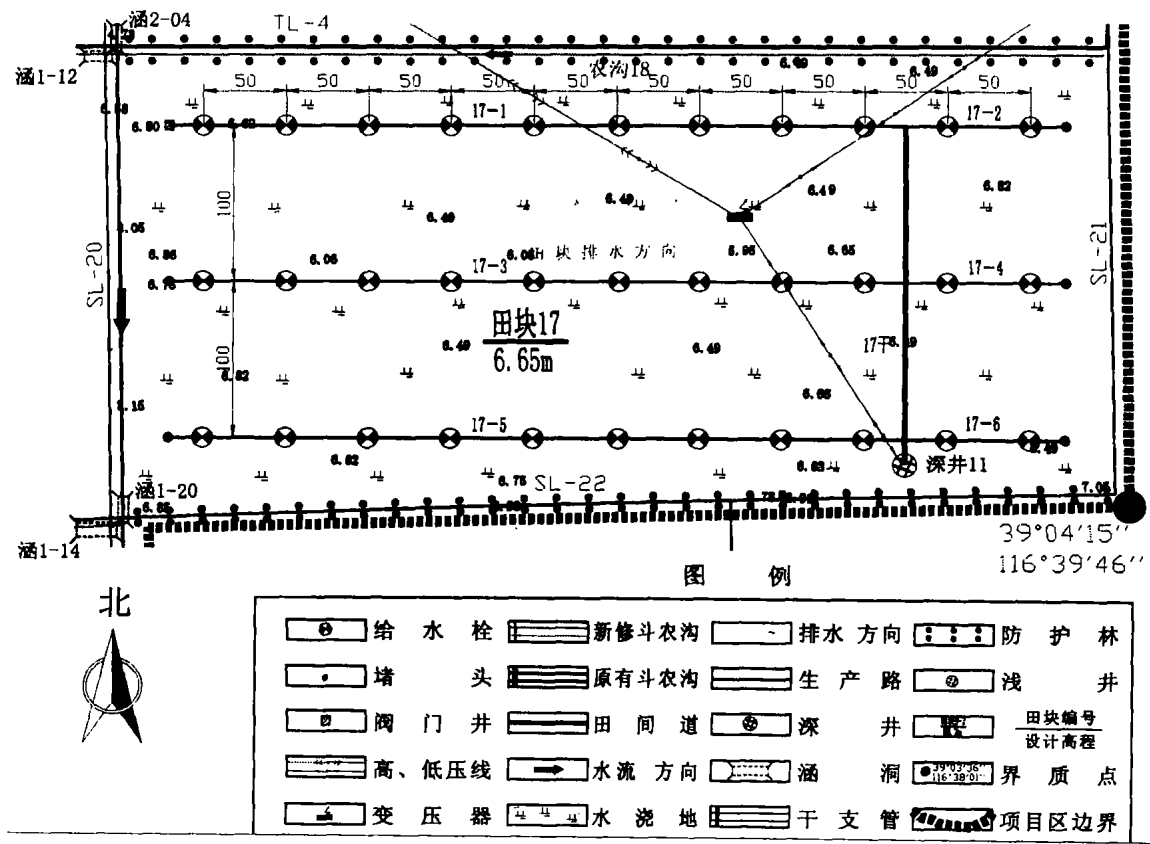


图 3 河北省霸州市胜芳镇土地整理项目规划图(部分)

在应用 MapInfo 和 AutoCAD 进行土地整理规划设计的过程中应该注意以下问题, 一是在制图过程中必须注意图层的问题, 这两种软件都需要进行严格的分层, 所以图中的要素必须分类分层绘制, 方便以后的修改编辑和数据转换; 再是在制图中必须保证在两种软件中使用统一的坐标系, 不然会导致图形的变形和数据的偏差, 影响其准确性。总之, 由

于土地整理行业的专业软件尚处在开发阶段, 所以现阶段土地整理所应用的大多是地理信息系统或计算机辅助设计的一种, 而把其中的两种或更多相结合的使用, 提高了土地整理规划设计的效率和质量, 对国家投资土地整理工程项目的有效实施, 提供了技术保障。

参考文献:

[1] 王秀茹, 韩兴, 朱国平, 等. 关于土地开发整理与生态环境问题的分析[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 151- 153.

[2] 伍哲. 基于 MapInfo 的地理信息系统绘图技术[J]. 东北水利水电, 2002, 20(216): 52- 54.

[3] 曹大贵. MapInfo 和 AutoCAD 相互转换在城镇规划中的应用[J]. 城市规划, 2001, 25(8): 28- 30.

[4] 陆守一. 地理信息系统[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.

[5] 钱坤. AutoCAD 2000 全攻略宝典[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.

[6] 罗云白, 罗毅. 数字化地理信息系统 MapInfo 应用大全[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2001.