文章编号:1003-1995(2009)10-0046-03

改进新建隧道对既有隧道振动影响的爆破技术

朱 宇

(中铁二十一局集团 一公司,乌鲁木齐 830026)

摘要:通过对新建库鲁塔格隧道最大爆破振动速度的监测结果进行统计分析,发现最大爆破振动速度主要出现在前三段。为了降低最大爆破振动速度对既有隧道的影响,调整掏槽形式、单段装药量、起爆顺序、周边眼的爆破方式、段间隔时间、一次爆破的总药量等关键性因素是降低新建隧道最大爆破振动速度对临近既有隧道影响的有效措施。

关键词:既有隧道 隧道爆破 工艺

中图分类号:U455.41 **文献标识码**:B

1 工程概况

新建库鲁塔格隧道位于既有库鲁塔格隧道右侧,线间距 22 m,净间距 15 m,隧道起讫里程为 DyK438+881~DyK442+013,全长3 132 m,为单线隧道,与既有隧道长度相等且平行设置。线路坡度1 299 m长范围为3‰的上坡和1 833 m长范围为3‰的下坡。新建库鲁塔格隧道采用全断面光面爆破方法施工,炮眼直径40 mm,采用新疆生产的岩石硼化硝铵炸药和2号岩石乳化炸药,炸药直径32 mm,为不耦合装药,装药径向不耦合系数为0.8。装药段长度一般占炮眼长度的2/3,装药系数为0.67。采用眼底起爆,砂—黏土炮泥填塞。起爆方法为电起爆,采用毫秒延时导爆雷管分段爆破。该隧道围岩以Ⅲ级围岩为主,长度1 557 m,占全部的49.7%;其次为Ⅳ级围岩,长度为800 m,占全部的25.5%;Ⅱ级围岩长度为658 m,占全部的21.0%;Ⅴ级围岩最少,长度117 m,占全部的3.7%。因此探讨Ⅲ级围岩爆破振动的影响作用,以及研究减小爆破振动影响的工艺方法尤为重要。

2 影响爆破振动速度的因素

2.1 爆破振动速度测试与影响作用分析

隧道进、出口爆破振动速度测试设备为中科动态仪器有限公司生产的IDTS3850爆破振动监测仪。该仪器共有4个通道,各通道可并行采集样本;采样频率范围为1~200 kHz,8挡可选,A/D精度12bit(满量程的1/4 096);量程分三挡可选,即±0.4 V、±2 V、±20 V;选配传感器范围为:速度传感器频响5~300 Hz;加速度传感器频响0.2~2.0 kHz;振动分辨率为0.001 6 cm/s,读数精度0.5%。其余有关技术参数从略。

在既有隧道与新建隧道拟爆破开挖掌子面相同里程处的迎爆侧衬砌表面,使用该爆破振动监测仪进行爆速测试时,1、2通道距离地板大约2.0~2.5 m高度处,3、4通道大约在距离地板0.30~0.35 m高度处。

段间隔时间和段起爆顺序对爆破振动速度的峰值有很大的影响,完整的单段爆破地震波形应包括初振相、主振相和余振相。选择合适的段间隔时间可以避免爆破振动的叠加,随着毫秒延时间隔时间的增加,地面垂直振动速度的最大幅值将减小,当间隔时间进一步增加时,该值将增大,其后又将减小。在理想条件下合理选择段毫秒延时间隔时间,可以实现爆破振速的有效降低。

合理安排段间的起爆顺序也可起到避免爆破振动叠加和减小爆破振动速度的作用。掏槽炮采用跳段起爆顺序,既利于相邻两段振动的主振相分离,避免振动叠加,又利于为后排爆破创造更充分的临空面,减轻爆破夹制作用对振动的加强作用。

2.2 影响既有隧道振动速度的关键性因素分析和控制方法

新建隧道爆破对既有隧道产生的振动与掏槽形式、单段装药量的多少、起爆顺序、周边眼的爆破方式、段间隔时间和爆破的规模、一次爆破的总药量等因素

收稿日期:2009-03-26;修回日期:2009-07-16

基金项目:中铁二十一局集团《邻近既有隧道近距离平行增建二线隧道综合施工技术》

作者简介:朱宇(1971—),男,天津人,高级工程师。

万方数据

有关，采用爆破振动控制技术，结合新建隧道和既有隧道特点控制最大段装药量、段间隔时间、确定合理的爆破参数和对既有隧道最不利部位振速监测等措施的爆破振动控制技术，可以在一定程度上降低爆破振动。在近距离隧道的施工中，新建隧道爆破开挖将对既有隧道产生很大的影响。受影响最大的部位是先行洞的迎爆侧边墙，迎爆侧边墙峰值振速是背爆侧爆破峰值速度的十倍以上，也说明在施工过程中，迎爆侧边墙是爆破开挖控制的薄弱部位，应重点对迎爆侧水平方向速度进行监控，及时处理反馈信息。

通过对各级围岩爆破振动速度的研究分析，可以看出，既有隧道衬砌迎爆面侧墙处，振动速度最大，其次是拱肩到拱顶和侧墙底部，背爆侧振速相对较小。最大爆破振动速度出现在前三段的频率高达 69.85% ~81.58%，因此为了降低最大爆破振动速度，对前三段的爆破进行控制，调整单段装药量。

2.3　降低爆破振动的措施

掏槽炮孔布置是否合理，直接影响隧道开挖爆破效果。掏槽炮孔布置是所有炮孔在隧道断面中布置的前提和基础。垂直楔形掏槽是常用的一种掏槽形式，由于直眼掏槽钻爆方法要求钻孔密度大，精度高，一般还需要大临空，因此作业时间长是制约快速掘进的一个主要问题。隧道爆破不同于露天爆破，它只有一个自由面即开挖面，爆破效果的好坏，取决于临空面的性质(大小、数量)，就改善隧道整体爆破效果出发，必须通过掏槽方式人为地创造新的自由面(临空面)，通常利用钻孔方式的不同，形成多种多样的临空面，最早最原始的方法是即发掏槽，即用多个相距甚密的垂直炮孔进行齐发爆破，这种掏槽方式炮孔利用率较低，可达孔深的 60% ~70%，并且爆破产生的振动很大；楔形掏槽是由两排以上的相邻对称的倾斜炮孔组成，爆破后形成楔形的槽，槽可以分成水平楔形和垂直楔形掏槽两种形式。并根据开挖面节理裂隙发育程度以及走向分别采用水平楔形掏槽和垂直楔形掏槽(当存在水平层理时应用水平楔形掏槽)，这类掏槽方式能提供较大区域的槽腔体积，有利于后续炮孔的爆破，提高循环进尺和炮孔利用率，减少炮孔数量。主要是以减少掏槽爆破段药量，弱化掏槽位置岩体强度，加大拉槽的竖向长度，有效减小掘进眼、内圈眼，光爆眼(层)所产生的的振动速度。

对新库鲁塔格隧道最大爆破振动速度的监测结果进行统计结果发现最大爆速出现在前三段的几率高达 69.85% ~81.58%，为了降低最大爆破振动速度，应对前三段的爆破进行控制，调整单段装药量，将原设计的一次掏槽改为二级复式掏槽的布置形式，从而减少掏槽位置单段起爆药量，对降低临近隧道的最大爆破振动速度是非常有效的措施。从而通过调整前三段的最大装药量来控制既有隧道(库鲁塔格隧道)的最大爆破振动速度。

通过实测数据分析发现，影响爆破振动的主要因素中可控的是爆破参数，即掏槽形式、单段装药量的多少、起爆顺序、周边眼的爆破方式、段间隔时间和爆破的规模(掘进进尺)、一次爆破的总药量等关键性因素，其中掏槽眼的布置形式和掏槽眼的单段装药量的多少对爆破振动速度影响最大。

根据岩性、围岩类别、断面的大小相对Ⅲ级围岩的原有炮眼布置(图 1，表 1)进行优化，特别是改进掏槽眼布置形式，选用两部双级斜眼楔形掏槽(图 2，表 2)。两对掏槽眼对称巷道中线，距底板 1.0 m 高，向上竖直布置，间距 0.8 m；二级掏槽眼比其它眼超深 0.2 mm。掏槽眼排距 0.4 m，成对炮眼底距控制为 0.4 m，与工作面夹角确定为 71°。新布置的楔形复式空孔直眼共 5 个，外侧两个，中心一个，共三个。空眼仅在底部装 1 ~2 卷药起爆，布置在 MS7 段起爆，其主要作用是将第一部、第二部掏槽爆后的岩渣再次抛出，为其后段药包的爆破创造出了更为有利的自由面，弥补了炮眼同深度分阶分段掏槽不利于创造大的自由面而引起炸药单耗增大的不足之处。因此，采用该方法既有利于提高炮孔利用率又有利于提高爆破效果，形成竖向长条的槽腔，这种竖向长条的槽腔其中一侧的辅助眼、内圈眼、周边眼形成良好的减振槽，同时可以有效地降低辅助眼、内圈眼周边眼爆破的夹制作用。

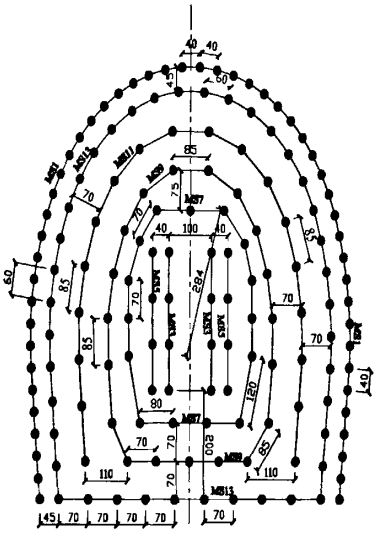

图 1　原炮眼布置图(单位：cm)

万方数据

表1 Ⅲ级围岩进尺3.0 m原爆破参数

序号	炮眼分类	炮眼数/个	雷管段数	炮眼装药量		
				每孔药卷数/卷	单孔装药量/kg	合计药量/kg
1	周边眼	46	MS1	6	0.90	41.40
2	圈眼	28	MS13	7	1.05	29.40
3	掏槽眼	8	MS3	9	1.35	10.80
4	掏槽眼	8	MS5	9	1.35	10.80
5	掘进眼	13	MS7	7	1.05	13.65
6	掘进眼	19	MS9	7	1.05	13.65
7	掘进眼	18	MS11	7	1.05	13.65
8	底板眼	10	MS13	10	1.50	15.00
	合计					148.35

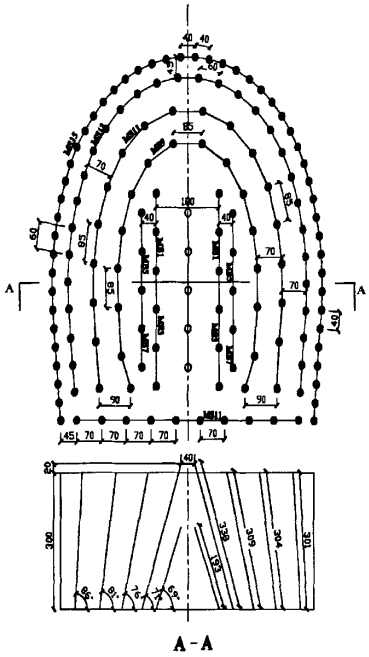

图2 改进后炮眼布置图(单位:cm)

3 结论

1)通过对最大爆破振动速度进行统计可知,最大爆速出现在前三段的频率高达69.85%~81.58%,因此应对前三段的爆破进行控制。通过调整炮眼布置形式、段装药量及掏槽形式等方法来减少最大段装药量和降低爆破的夹制作用,采用两部二级掏槽方式,加大拉槽长度,减少掏槽段的单段起爆药量,从而达到降低最大爆破振动速度目的。

表2 Ⅲ级围岩进尺3.0 m爆破参数

序号	炮眼分类	炮眼数/个	雷管段数	炮眼长度/cm	炮眼角度/(°)	炮眼装药量		
						每孔药卷数/(卷/孔)	单孔装药量/(kg/孔)	合计药量/kg
1	周边眼	50	MS15	300	90	6	0.90	45.0
2	内圈眼	30	MS13	301	86	7	1.05	31.5
3	辅助眼	18	MS11	304	81	7	1.05	18.9
4	辅助眼	16	MS9	309	76	7	1.05	16.8
5	掏槽眼	6	MS7	338	71	8	1.20	7.2
6	掏槽眼	4	MS5	338	71	8	1.20	4.8
7	掏槽眼	6	MS13	193	69	5	0.75	4.5
8	掏槽眼	6	MS1	193	69	5	0.75	4.5
9	底板眼	10	MS11	300	90	7	1.05	10.5
	合计							143.7

2)最大爆速出现在前三段的频率大,因此为了降低最大爆破振动速度,对掏槽位置的单段起爆药量进行控制,调整单段装药量。使掏槽位置的单段起爆装药量均<7.5 kg。

3)隧道内最大振动速度随最大段装药量的增加而增大,通过调整最大段装药量,将一次爆破较多的炮孔分成较多段按顺序起爆,将一次掏槽改为两部二级复式掏槽的形式,从而减少单段起爆药量,特别是减少掏槽位置的单段起爆药量,是降低临近隧道最大爆破振动速度非常有效的措施。

4)在施工过程中,可按调整的钻爆参数选取试验段进行试爆开挖作业,同时要严格对爆破振动速度的监测,并及时反馈,分析,调整钻爆参数,从而指导后续施工作业,实现对爆破振动速度的动态监控。

参 考 文 献

[1]石洪超,丁宁,张继春.爆破动力作用下小净距隧道围岩振动效应分析[J].爆破,2008,25(1):74-78.

[2]赵进忠.增建二线隧道施工控制爆破技术[J].铁道建筑,2008(9):49-51.

[3]阳生权.小间距平行隧道爆破震动加速度测试[J].爆破,1997,14(4):38-40.

[4]刘慧,史雅语,冯叔瑜.招宝山超小净间距双线隧道控制爆破监测[J].爆破,1997,14(4):25-28.

[5]史雅语,刘慧.招宝山超小净距隧道开挖爆破技术[J].工程爆破,1997,3(4):31-36.

(责任审编 王天威)

万方数据

改进新建隧道对既有隧道振动影响的爆破技术

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 朱宇， Zhu Yu
作者单位： 中铁二十一局集团一公司,乌鲁木齐,830026
刊名： 铁道建筑 PKU
英文刊名： RAILWAY ENGINEERING
年，卷(期)： 2009，(10)
被引用次数： 1次

参考文献(5条)

1. 石洪超. 丁宁. 张继春 爆破动力作用下小净距隧道围岩振动效应分析[期刊论文]-爆破 2008(01)

2. 赵进忠 增建二线隧道施工控制爆破技术[期刊论文]-铁道建筑 2008(09)

3. 阳生权 小间距平行隧道爆破震动加速度测试 1997(04)

4. 刘慧. 史雅语. 冯叔瑜 招宝山超小净间距双线隧道控制爆破监测 1997(04)

5. 史雅语. 刘慧 招宅山超小净距隧道开挖爆破技术[期刊论文]-工程爆破 1997(04)

相似文献(10条)

1. 会议论文 吴剑锋 线间距偏小条件下新建隧道微振控爆对既有隧道振动影响的研究 1996

该文就增建二线隧道爆破开挖时，对毗邻既有隧道的振动影响进行了大量试验研究，为确保隧道运营安全，提出了微振控爆的技术措施，得出了隧道内爆破振动速度的传播规律，给出了隧道爆破允许安全振速的标准。

2. 期刊论文 李利平. 李术才. 张庆松. 李丽燕. 刘慧清. LI Li-ping. LI Shu-cai. ZHANG Qing-song. LI Li-yan. LIU Hui-qing 小间距隧道爆破动力响应分析 -公路交通科技2008,25(7)

基于复线隧道施工爆破对既有隧道稳定性冲击问题,结合沪蓉线庙垭分岔隧道工程实例,研究了其小间距段施工爆破的振动监测方法、爆破动力特性及其减振控制技术.通过对隧道爆破围岩和衬砌质点振动速度波的频谱分析及其振速预测数学模型的改进研究,分析了隧道振速峰值纵向衰减规律、衬砌振速主频、横断面振速分布规律及爆破掌子面附近振动情况,并以小间距既有隧道中墙迎爆侧破坏为基准,从循环进尺、微振起爆、掏槽结构等方面提出了相邻隧道爆破减振技术措施.研究结论可为类似工程的爆破设计、施工及监测提供参考.

3. 期刊论文 王明年. 潘晓马. 张成满. 温向东. 王慨慷 邻近隧道爆破振动响应研究 -岩土力学2004,25(3)

由于新建隧道与既有隧道之间距离较近,开挖爆破产生的地震波会危及既有隧道衬砌结构的安全和稳定,笔者应用现场监测和数值分析两种手段对此进行了分析研究,得出了一些有意义的结论.

4. 学位论文 文曦 既有隧道受临近隧道爆破开挖影响及安全性评估研究 2008

新建隧道爆破开挖可能引起邻近既有隧道损伤的危险，在与既有隧道的间距比较小的情况下进行新隧道的爆破开挖，开挖产生的爆破地震波会危及既有隧道围岩和衬砌结构的安全和稳定。本文以某隧道为背景，运用有限元基本方法，采用MIDAS/GTS软件对既有隧道受新建隧道爆破施工的影响进行了数值分析，讨论了在不同间距，不同围岩类别情况下，新建隧道爆破对既有隧道变形、振速、应力的影响。通过对某隧道的现场检测，分析了裂缝产生的原因、裂缝对隧道安全性的影响，并对隧道安全性进行了评估，结合隧道常见的裂缝病害，给出了一些裂缝修补技术，以保证既有隧道运营的安全性。

本文首先对既有隧道受临近隧道爆破影响及既有隧道安全评估的研究价值，国内外的研究现状，新老研究方法的对比进行了详尽的概括和阐述。以岩石爆破的破坏理论、应力波理论和动力有限元法为基础，通过MIDAS/GTS软件，对不同的算例进行了既有隧道受邻近爆破影响的三维数值模拟分析。分别考虑了不同的隧道间距，不同的围岩的类型等情况，主要分析了既有隧道衬砌和围岩在受邻近爆破影响下的振动速度、应力和衬砌变形，研究不同断面振速极值的位置，出现的时间，不同方向振速峰值的变化情况，并将各种不同情况的计算结果进行比较和分析，得出了一些有益的结论；利用MIDAS/GTS软件，在弹性地基梁理论和结构力学理论的基础上，使用荷载结构法计算既有隧道衬砌在出现裂缝、破损情况下的受力状态，对新建隧道在施工建设过程中判断既有衬砌所受的影响起到一个重要的参考作用，并给出了裂缝出现的成因及提出裂缝修补方法，以有效改善衬砌结构的可靠性。

5. 期刊论文 毕继红. 钟建辉 邻近隧道爆破震动对既有隧道影响的研究 -工程爆破2004,10(4)

运用有限元的基本理论,采用ANSYS软件对既有隧道受邻近隧道爆破震动影响进行了研究.分别就不同围岩类型、不同隧道间距情况下既有隧道的振动进行了分析.结果表明:既有隧道迎爆面边墙的振速最大;围岩越稳固,振速越小;当间距小于1倍的隧道直径时,隧道衬砌的振速会超过允许值;围岩的振速与至爆源距离的关系是非线性的.

6. 期刊论文 张学民. 阳军生. 刘宝琛. ZHANG Xue-min. YANG Jun-sheng. LIU Bao-chen 近间距隧道爆破地震效应的试验研究 -辽宁工程技术大学学报（自然科学版）2005,24(z2)

为了解决层状岩体中采用钻爆法修建近距离双线隧道的爆破影响问题,基于现场试验,总结了爆破衰减规律.试验结果表明,新建隧道爆破时,振动速度随着与爆源距离的增大成非线性减小;振动速度具有很强的方向效应,迎爆面径向振动速度均大于切向振动,径向振动速度对既有隧道和新建隧道围岩的损伤起主导作用;采用上下台阶开挖时,上台阶爆破冲击波对既有隧道的影响比下台阶显著.根据萨道夫斯基回归公式给出了距爆源不同距离的单段最大装药量.将爆破对新建隧道本身围岩的损伤破坏和对相邻隧道的影响结合起来综合考虑,对层状岩体中隧道爆破参数进行了优化.

7. 期刊论文 张学民. 阳军生. 刘宝琛. ZHANG Xue-min. YANG Jun-sheng. LIU Bao-chen 层状岩体中近邻双线隧道爆破的振动响应研究 -湖南科技大学学报（自然科学版）2006,21(4)

近邻双线隧道爆破开挖时,为了避免新建隧道爆破施工产生的地震波危及既有隧道的安全和稳定,基于数值模拟和现场试验,分析了层状岩体中采用钻爆法修建近距离双线隧道的爆破振动响应.结果分析表明,对于既有隧道,迎爆面侧墙处的振动速度和反射拉应力最大,而且振动速度具有很强的方向效应,隧道径向振动速度大于切向振动速度,其规律与现场爆破试验结果有较好的一致性.将爆破对新建隧道本身围岩的振动损伤度和对相邻隧道的振动影响结合起来综合考虑,提出了层状岩体隧道爆破施工中减轻振动的几种措施,并对隧道爆破参数进行了优化.图7,表4,参8.

8. 期刊论文 林从谋. 陈礼彪. 蒋丽丽. 郑宏利. LIN Congmou. CHEN Libiao. JIANG Lili. ZHENG Hongli 高速公路扩建

大断面特小净距隧道爆破稳定控制技术研究 -岩石力学与工程学报2010,29(7)

以国内罕见的大帽山隧道为工程背景,结合国内现有研究成果和规范,研究新建隧道爆破施工时确保既有运营隧道安全稳定的控制技术.以现代信息化施工理论为依据,充分运用现场监控量测,将既有隧道质点振动速度的临界值确定为20 cm/s,对既有隧道爆破质点振动速度进行监测、回归分析和爆破参数的优化;最终现场监测结果表明,优化后的最大装药量等爆破参数设计合理,该爆破设计在现阶段未对既有隧道安全产生较大影响;同时,运用数值模拟的方法,得到中夹岩和既有隧道壁面的质点振动速度随时间的变化规律,所得最大振速符合规范要求,验证该次爆破设计是合理的.通过数据分析得出隧道肩部的振动速度是隧道底部的1.19～3.99倍,隧道腰部的振动速度为隧道底部的1.10～3.11倍,迎爆侧振动速度为背爆侧的5～10倍.该研究成果为今后类似隧道工程的爆破掘进工程在理论上和施工方法上提供参考借鉴.

9.学位论文 李钰玺 隧道爆破施工对临近既有隧道结构安全的影响 2010

将原有单线铁路通过增建复线进行改造，既可大大提高既有铁路的运输能力和运输效率又可节省建设投资。在复线修建的过程中，新建铁路隧道与既有隧道的间距往往偏小是个十分普遍的情况，这就产生了如下问题：新建隧道爆破开挖产生的爆炸应力波对原有隧道的运营安全及结构安全性将产生重大影响。

本文以在建的渝怀线铁路复线隧道项目为依托，结合其具体的工程实际，将新建隧道掘进爆破对既有隧道衬砌产生的动力效应作为研究对象，主要进行了以下几个方面的探索：

①对岩体中的爆破机理进行阐述，特别是对控制爆破理论的发展及其在地下工程中的运用加以总结。对爆破应力波的分类、特点加以阐述，在分析国内外爆破振动安全依据的前提下，提出了辅助判定依据。

②运用有限元程序ANSYS中自带的动力板块LS-DYNA，分门别类的对隧道爆破掘进工程中可能遇到的各种情况进行数值模拟分析，从质点振动速度空间分布及其时间历程、单元应力空间分布及其时间历程两方面对爆破地震波对既有隧道衬砌引起的动力效应进行归纳研究，得出相应结论。

③从质点振动速度峰值的角度，结合我国现行的爆破安全判据，提出了考虑既有隧道安全的爆破开挖方案。

④从爆破产生的应力分布及其时间历程角度，对我国现行的爆破安全判据的合理性及其缺陷进行探讨。

⑤提出了铁路复线小间距隧道施工的一整套双重爆破信息化施工方法。为协调施工进度与既有地下构筑物安全这对矛盾做出有宜探索。

关键词：小间距隧道；爆破荷载；数值模拟；安全判据；背爆侧

10.期刊论文 高俊青.Gao Junqing 新库鲁塔格隧道爆破施工引起邻近既有隧道振动特征的研究 -铁道建筑 2009(10)

在建的南疆铁路吐库二线新库鲁塔格隧道与既有隧道的边墙距离为15 m,为确保既有隧道的安全运营,进行了爆破振动监测.基于现场实测数据,分析了爆破速度参数的统计特征和分布规律.结果表明,现有施工方法基本符合安全要求.

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_tdjz200910016.aspx
授权使用：武汉理工大学(whlgdx)，授权号：edabb256-87e1-4074-a869-9e92013ddaef
下载时间：2011年2月22日