doi:10.3969/j.issn.2095-1329.2023.02.020

城市轨道交通智慧监护的数字底座构建与应用

彭文祥[1, 2, 3]

（1. 上海市地质勘查技术研究院，上海 200072；2. 上海市地质调查研究院，上海 200072；
3. 上海市地质资料信息专业技术服务平台，上海 200072）

• íhF¢•ZÇñTºÐ¹•ƒc T ƒC 6Ùƒ@T • œ • øŽƒ$I [y^5ªÚ6È
À :Ù w• §þÇ@ ÿôª GIS CIM BIM ª0•È JoºN³ $ ÜI‡Ic2Î¦ % È5
"Ìª« ª•« :Ùj&"A« • « œ «ÑŒ©«¦íFÇñTº•4¹W:9P * zÇñTº•
4¹W¦2p0• • T @T_z"•4¹W¦ %È• ÇñTº#ïºÊ‘ ¦fÅÈúï þòºÊ• T
* øt • ù#¦ À OGC T Ñ Àºpêtªí GeoSOTª M©#ï0• úï BIM ™¦ÛsWkÅ0•
ÀŒ z 0•È í ã¢ ™ÑÙ¼ºÊ ™¦¶‡0• ç© ArcGIS Java ²œ €P Spring Cloud ª8@ h
¦íFÇñTº•4¹WÈj Çñ-¼ÑÇñ ¼ÐÊœ Œ©
F¢•Z×Çñ ¼×•4¹W×Ù¼ºÊ ™ ×GIS ×BIM

P208 ×U231 A 2095-1329(2023)02-0126-08

_ ¦x[•Á!e¶ð 2022 A®!e©µ5È'Ÿ
53Ì {¦ 0Á ¦!e+bâÃx ZKÃ.‡s
†Ö 290 ÉÃ9584 km Ã5609 `Änÿšø Zpe¹3•!e
xÜ{† 0Á ¦!a:µÌB {† 0 !b¨Ö:
Á(- $ Ä‹†Z 2020 A•!e ÉÏµ 0Á ¦
{† 07•V•Ê 7 [1]!e¦•ù{† 0xÜ!e+
Ï²Â!µÜ'vÛ 8!,Ö[•Äý Á×Þ ²Â!
µÜ'8! %¡ÖÈ ÃÃÁ ÃAª
'æ¸• í¹Ý'æ³Ä…sµ&ã²œ‹ù
Ý'ö3• [2]Ã²öê 3• [3-7]ÃÃÁÜdx•Ö 3
• [8]Äí¹Ý'æã²!aæ]¶• !bÁ0Á ¦;¥'
æÏH¥Ss [9-13]Ä•Öµ&ã²¸ý8æzã²Á0Á
¦'æ; Ssœc!eÖÈ¦vÛ 8!Œ—ã²²
Â!el©T ·?Ã U·®ÃÖ ·šxÃ _%¸Ã

_—$·3AÃ Vö ³[J!e:µá 0pk
ÁÈµ!e' h 0üû¡˜·%Ä_·:!•Á!e$
2021 AÁ8ÉÃH Ã[KÃ¨ ³ 7q' h
0üû 6¹ÄÌf.1Ãšn†Á{7.1ÃENÞ½.1Ã
íy•Šx¸Ã úÖb KÃÃÁ¸EN¯(¥;Ã
È w¤³¨Ö®ÔÈ¦vÛ8! ×•Y¯©5 [14-16]!e
5v®Ô 0 8!x ÄšsÎ ×•Y¯©5nÈ¦
vÛ8! ®Ô!eZ{†'öã•¬L [p[JÄ
E•´!eÁ²ÂÈ¦vÛ8!œcï!e¬ùœc+¯
(¥;©5i!e}ã•œcÈ¦šn !Ag•5n
+vÛ ®Ô!e~ •5Ö"ÈtÃÈ¥ÃÈ´Èµ¼aÛ!b
¸†ÃÖbÃ' .1Ã•š' /'¿³Ä Ÿ œc
×•ÐÏÁÈ¦vÛ¯(¥;¸²öê % Ä¯
Á '~ !Ag•5 !µ´!e+{†'ö +'
ÜÁ Ç!eŒjù 0{†'ö T` róÛ!e
{•ù(ã²tÈ!e•:ùE•Ss!e:ªn©µ{
† 0Á ¦ x•Œ—Ð`Ä

收稿日期：2023-03-26
修回日期：2023-05-12

作者简介：
¬ !e 1966 Aq!e €!eý[!eéL K !e
×•+üÈtµ&Ý¸0Á ¦µ&ÝÃ 3S
ã²Ãga•Á'³œcÄ
电子邮箱：gisrsgps@163.com

基金项目：´ÿ 5¼!^.1!a 19DZ2292000;20DZ1201200!t
21DZ1204200!b

1

róÛsÖt†'ÃÝ~'ÃÁÓ öÜ''Ã
_'Ã¢¶'¸Ss'!eš¶ 1¿üÄÖù²ß 0{
†'ö T`šxÃŸOÃ/Ž{•!e}ã•x„ú
»U²ßr3¸‹_8!²Âr3Ä

1.1

t † ' × • … s Y t • ã ² x „ q g È a È ¸ È µ ! b „ r Ý { š ' æ r 3 Ä Á q % ! e S s ' Ç t ¸ à p Ç t T _ ! e x „ † ä ¶ L ! e ¦ u 8 _ ' ñ ³ Al ã ² • : È ¦ ² ö ê È † 1 ; Ý ' æ ¸ é K ' æ Ä Á g % ! e … s g Ç t ¸ 4 ¶ Ç t _ ! e n È ¦ ² ö ê [ê • : ; Ý ' æ Ä Á È % ! e … s œ E ' w 3 • ! e ¦ u n ¸ Á Ó ã ² ! e n È ¦ ² ö ê ' ¿ Ã ' ³ L M ! e • : ! q Ì ' æ ! t W s × Ö ‹ ã ³ a û ñ Ö ‹ Ã z Ö … Ö ‹ Ã Ç / … Ö ‹ Ã . E Ö ‹ ³ ! b • : È ¦ ² ö ê È é K ' w Ä Á È µ % ! e × • ' æ ä † Ã Á Ã . ‡ v Û ¥ ; « Á R ! e × • Ö " ! s … s û ± J U Ã • J @ Š ¸ s … I ã ² • : w ¤ ' æ ! t … s , d í ¹ æ] ´ š ! ‡ < • : m D ' æ ! t … s × æ Ù < Ã Ý § Á Ã ³ • × Ö ‹ ³ • : õ ' æ ! t … s Ý § Y t • n . ‡ N r ³ v Û • : Ý ' æ ! t … s e ½ Á n Ã Á N r e ½ Ã ü ½ ú ú ³ • : E A ' æ ! t v \ 8 _ ' ñ ³ Al ã ² ! e … s ³ • × Ö ‹ Ã é ª œ E ¸ ý Ã C 6 ³ ã ² • : Ã Á D ™ Á R ' æ ¸ í ¹ ä † Ä

1.2

¬ ù ¦ u 4G/5G Ý ~ Y • ' æ _ i ! e 0 Ý ã • … s ú ¶ Ý È ÃÈ t ÃÖ b Ã ¤ a Û ! b ¸ † ³ _ • r ! e } ã • x „ I Ý Ã ú ¶ Ý ¸ 0 Ý á a _ 8 ! Z ¶ ‹ Ä š í ¹ Ý ' æ _ E A Y [‰ I Ý _ R Ï ! e : b ¦ u Z ê ` ù ‰ 0 Ý Ä

1.3

… s Á Ó ü H ! e W s “ Ý ã ² ² x 0 @ L ! e E ý Á Ó • r Ã ö • r Ã 7 C • r ' Ä

1.4

… s A g p _ ã ² ! e u 0 { † ' ö k r } Û _ • ® T Ð ! e x „ A g _ - R Ä

1.5

… s GIS a Geographic Information System õ CIM a City Information Modeling ! b Ã BIM ! a Building Information Modeling ! b ³ ã ² ! e W s Ë ¢ ¶ ó Û u ´ š ¸ _ i s ¨ Ë ¢ ¶ ! e ¦ u Ë ¢ ¶ Ð û Ö ´ ' S s Œ — ¢ ¶ Ä × • Ö " ! µ Ë ¢ ¶ ¸ Á ¶ Ë ¢ ¶ Ä × Þ Ë ¢ ¶ ó Û Œ — ù ! µ Ë ¢ ¶ ¬ L % 6 Ä ¯ × • v \ { † ' ö ã R ! e z s ù Á ¶ Ë ¢ ¶ ! a ¶ 1 ! b Ä © Ë ¢ ¶ , Ÿ ÿ c { 7 Ã K Ô • ™ Ã ˜ j $ Ã x • W O ³ S Ã [17] ! e ¼ S { † ' ö Á ¶ • ! e K æ ª Ô S ! e x „ E s 3 • Ä

1.6

Ö È ¦ { † G Þ Ã { † x Ü Ã { † x • Ã { † Ö • A Ù E ! µ ! e Ö { † 0 Ã { † x Ü Œ — Ê E ã ² ² Â Ä

2

2.1

Á 0 Á ¦ š z Ã Ì f Ã Ü Á Ã ÷ x Ã ' Ã ‹ Ã • ö ³ ! q ¤ š ª Ö u K Ï ! e Ì • { · ` V Ö ! e • R · ® ! e 5 v ® Ô { † ' ö { • ! e © ø ã • • : U š x œ c Ä × Þ U Ö IFC ! a Industry Foundation Classes ! b µ • ¦ s BIM _ U ! e U * ; H Ã Ô • ™ ! e Á ! µ Ü ' ; H ¥ S s [18-20] Ä IFC U Á · " Ô • : - Ï ! e š IFC-Road Á â U [21] a IFC-Bridge E N U [22] a IFC-Tunnel Ã Á U [23] a ! ÿ IFC U Ô • ¾ È ® r Ý ³ • · ¹ _ Ã ó [24] Ä Á 0 { † ' ö Ï Ð ¨ È t µ & ý 0 [• [25] Ä Á È t ; ! e © µ ' • : ù ù Ÿ ¨ ü Ô • œ c Ä Á K È t ; ! e Á IfcCivilElement E r µ Ý q j » V s ÿ ‹ Ž È t µ & ú Z E r ! e : b Ý q j È ' E r Ã E r Ã J m ™ æ E r Ã È t 9 (E r [18] Ä Á ³ • È t x Ã ; ! e œ x ù È t r ³ • Ã Ô • Ã ó ! e š IFC-3DGeoMdl [26] Ä ~ œ c 4 Ÿ x ¹ ù { † ' ö y ! e l Á E • S s Ï ! e ã • n p] Ÿ Ì t ÷ ‰ ¸ ¶ \ š s U Ý ! e : 3 1 š × Þ Ì t 7 C B · ò / ! ÿ IFC Ô • _ W Ð ³ [

1

Fig.1 Overall architecture of urban rail intelligent monitoring digital base

J!e © > Á È t y Ï!e ¦ u œ s ß!e œ c ¶ ‹ ù È t µ & _ U [27] Ä K È t _ U s Ö È t t Ã ! m æ ò Ã ¿ ò Á ³ p !e + Ï È t t Ö " . 1 ! ¯ µ & Ã Ë È È ' s ' Ã ! ¯ L M Ã È ' s ' Ã È ' ‹ Ž ³ _ U!e ! m æ ò Ö " U { ò Á Ã û ± ® t æ ò Ã C ó ¹ ± ® t ò Á Ã î Ù § t ò Á Ã E ¹ ò Á Ã (ò Á Ã À Ó • t ò Á Ã ª ª æ ò Ã Ë È Ë F ¹ ò Á Ã ¼ ¿ $ Ô S ò Á Ã ¤ J y Ì O - J ò Á Ã Ì O J ò Á Ã Ø r ' F ò Á ³ _ U!e ¿ ò Á Ö " (Ë ! ¯ µ & Ã 0 š ò Á Ã ò Á 0 š Á Ó . Ã I s ß ò Á Ã 0 š ´ v ò Á Ã ª ´ v ± ò Á Ã ³ < ò Á Ã k E ò Á Ã â E ò Á Ã ¹ ³ < 3 ' F ò Á Ã $ † ò Á Ã È µ J 3 ¿ ¸ ¡ ò Á ³ _ U Ä ¶ ð 2023 A 3 ž 5 6!e * _ U!e x R Ö ù 84 ± k Ì K È t _!e ~ _ ¦ u ¢ ¶ % … Ö ´ ÿ 0 Á ¦ { † ' ö Œ — ù ! µ È t µ & Ä ¬ ù È t µ & _ U i!e } ã • n v µ U Ã : Á Ã È % Ã « r U!eœ c ¶ ‹ È ¦ ' æ Ã È ¦ b â ê a Ã È µ x (Û) ¸ † Ã È µ Ö b Ã BIM Ã ó ³ _ š x Ä

2.2

{ † ' ö 3 È t Ã È Ã È ¦ v Û!a Ã Á Ã E N Ã . ‡ ³!b Ã È µ Ö b Ã È µ x!a Û!b ¸ † ³ ; _ 3 + ; ¥ ' æ _!e _ + … k 4 k (!a Ö " CAD Ã k 4 GIS ÃBIM x Ã 7 C Ã excel Ã6 + 3 ÃDB ÃJPG ³!b!e ~ _ ‹ Z k r } Û !e ã • • : _ Ð ¨ ã ² t È Ä n ÿ — Ä _ x R • R ! · _ + …!e K : W s FME!aFeature Manipulate Engineµ . p SAFE # S œ ‹!b • : _ + … 4 Z ¸ Ð ¨!e ¯ × • È Ø · • : _ + … 4 Z E s Ð ¨ ã ²!s !a1!b ! ÿ { ù U ¢ ¶ Ð ¨ n ÿ · Œ — ! · _ È T ¶ Ã Ç t ¶ Ã È t ¶ Ã Ö b ¶ Ã x (Û) ¸ † ¶ ³!e K : ! ÿ { ù U 7 ¨ OGC ¢ ¶ • : _ Ð ¨ [28] Ä * _ U È ¦ ê a ¸ ü R!e u ArcGIS ¢ ¶ ¸ MapGIS ¢ ¶ Ð ¨!e E ý ù È ¦ b â ¸ È ¦ — b È t Ÿ ¶ Ð ¨ • ü!a ¶ 2!b Ä ~ (å S Ã!s K : 7 A Ì 7 C ‹ $!e š MapGIS ‹ y È t ¶ C » Á!e · ã • Œ — ! · _ K E ý _ ' !e ² ö ù _ Œ — ú m º Ä !a2!b ! ÿ È Ÿ s Ý + GeoSOT Ð ¨

GeoSOT!aGeographical coordinates Subdividing grid with One dimension integral coding on 2n-Tree!b Z ® 4 È Ÿ s ¸ ¶ • % ¡ [29] ÄGeoSOT ¥ ¨ µ ð È Ñ!e ´ ð Ù È i ±

2

) L J , Q W H J U D W H G J H R O R J L F D O S U R ¿ O H D
of the tunnel

50 ± km é g!e p ð Ì È g a!e x ð L r Ø 0~32 L Ÿ s 5 ó Ä ! ÿ GeoSOT 5 ó!e 7 • j ù : Þ Ý + • Ö 8 D µ U!a µ •!b Ý + U r 3!a ¶ ‹ ù 3 . µ • U Ã 5 . µ U U ¸ 9 . : Á U!b [30] !e Ó u , Ÿ H • S s š v Ä Ð ¨ â Ö!s * _ GeoSOT 5 ó!e Û x È ¦ š n ! g a!a Ö " g Ï Ã È Ã È µ!b „ r Ý + 5 ó!a @ • x Ý + K : ‰ 1.5 cm!b!t * _ _ ó š È t µ & Ã È µ Ã Á Ã . ‡ Ã x ¹ † r!a | .!b ³!e W s g a ; Z % ¡!e Á û ® A •!e u È ¦ — b g a x ± E s E r!a Ö " Y t • Ã T Ã e ¶ ³ W Ð _!b ¸ r Q _ Ö ¬ ´ „ Ö ; Z ‰ „ r Ý + 5 ó!e : ¨ k r } Û _ Ð ¨ Ä ~ 4 Ð ¨ ã ² S Ã Á ÿ · s [x Ÿ 3 •!e B K Ö e 6 @ 0 { † ' ö Œ — ã ² ò Í Ä

2.3

BIM ã ² K S s ÿ 0 Á ¦ ! q ¤ š ª Ö [31-32] !e ¸ + Á 0 Á ¦ x Ü ¸ Ü Á Ï H ¥ S s!e Á È ¦ ' ö Ï ð • : ù t 6 [33] Ä ¯ ä × • t È BIM Ö ¸ K œ Ý ã ² Ä 1 š × Þ BIM x Ã 7 C Ö Revit!e s 7 C Í { x ~ BIM Ã ó!e š È ¦ . ‡ Ã ó!e © Û C k!e a ü „!e a : · š s + • : Ö ¸ K œ Ý Ä ¦ u n s ß µ 5 BIM Ö 7 C!e CityMaker @ L ÁBIM Ã ó â E ± Ã 3D T þ ü ä Ã : ³ % ¸ d S Ã [34] Ä © > Á … s ArcGIS Pro • : BIM Ã ó Ö t 6 Ï!e 7 ý + BIM Ã ó 4 Z · : Ã K œ Ý ü ä ã † ³ Ä © ø!e ¯ t È ! ÿ CityMaker Ö ¸ K œ Ý % 6 Ä ! ÿ Revit { 7 • C!e u BIM Ã ó 4 Ý Ö CityMaker FDB!e 7 ³ • ¢ ¶!e š • W s JavaScript { 7!e û . ‡ K œ Ý ü ä ˜ ¶ 3 Ä ! ÿ ¢ ¶ % … Ö BIM Ã ó , Ÿ a ü ª _ æ Ã s » • · ã • 8 f » Á 7 C Ã K ¸ + 0 ¢ ¶ • : Ð ¨ ³ ‹ $!e Ü Â Á { † ' ö Ö y Ï x H Ä

3 BIM
Fig.3 Visualization of a station BIM model

2.4

{ † ' ö 3 È t r ¸ K v Û r!a š Ã Á!b!e Ç 6 ' q Ã 6 y s Ã 6 ® Ô!e š Z b E r ¸ ÷ « n Z!e b n š • : µ ´ « ò Í ² ö Ä í 1993 A µ . p ' + R X O GEL jQ J È t x Ã ™ ê : Ê [35]!e ³ • È t x Ã ã ² G Ä 7 •!e µ i é { 7 ù ³ • È t x Ã Á 7 C!e š GOCAD ÃSurpac Vision!e µ 5 ð { 7 ù 6 S 7 C!e š MapGIS ³ • È t x Ã [36, 37] Ã 3DMine ³ • " Á » Á 7 C ³ Ä S s ~ 7 C K : ... ¬ ô í ¹ Ý x „ ³ • È t Ã ó!e × • S s ÿ Ã ó K œ Ý Ä ... sBIM ã ² K : x „ K v Û r Ã ó!e š Ã Á Ã ó Ä : #!e Ç 4 x Ã ã ² á a × å • ® _ Ã ó « _ Ð ¨ U!e ® ñ Ã 0 W n Ã á y Ë!e ³ ø á a µ & ' « Z š ± K –!e× å U { ¦ š ± [38]!e 5 v ® Ô Ã ó Ÿ ü Œ s!e © ø œ c BIM Ã ó ¸ ³ • È t Ã ó \ î s [• Ä © > ... s Ý + Ÿ s ã ²!e n È t r Ã ó ¸ Ã Á Ã ó \ • : ù t 6!e + ã ² Þ K ˜ ¶ 4!e , r š µ Ä

4
Fig.4 Flow chart of geology and tunnel fusion

!a1!b _ U Ý

{ ÿ Ì f • Ê r e ¹!e · ` . 1 š Ã Ã · ` . ¸ ú m 9 Â Ì f • U · ®!e . C µ U « È % K š x ð k ä ÷ x!e ž : ! · • r R Ö !e l Z È ' z s U · • ® [J!e 5 v ® Ô È t • Ÿ ü ... s Ä

Y • È ' U Ý ã • ã ² " o n › A œ c ê x ± 5 È t L M!e v \ » Á r Á « ! · s ' _!e • : ® n!e · $ y] p!e } n » Á " • R ý 0 é!e * A * ± Ä © > { 7 ù ! · s ' U Ý ¸!a ¶ 5!b Ä , K M º » Á " • : U Ý!e U Ý b 5 v R!e Ö b Ž í ¹ x „ ³ • È t Ã ó • A Ù E ! µ Ä

5
Fig.5 Standardization of drilling raw data layering

!a2!b ³ • È t x Ã ... s 8 t È ' x Ã 7 C!a Ý + q È # S œ ‹!b!e › 9 U Ý b û È 1000 k Ì !e x „ s ' Ã ó!e : b x „ ³ • È t v Û Ã ó!a ¶ 6!b Ä

6
)LJ ' JHRORJLFDO VWUXFWXUH PRGHO DQG

!a3!b Ã Á x Ã

n ÿ Ÿ BIM 7 C x „ Ã Á Ã ó!e … s _ + … 4 Z % ¡ • : + … 4 Z Ä n ÿ x È ¦ 4 BIM Ã Á Ã ó!e* _ < b XYZ Ö !e: 3 Ã Á 5 · Ãi · Ãü X!e … s Revit 7 C . Ý x Ã % ¡ x „ Ã Á Ã ó!e : b 4 Z Ð ¨ ‰ 8 t È ' x Ã 7 C Ï Ä

!a4!b Ã ó \

n x ¨ ³ • È t v Û Ã ó ¸ Ã Á Ã ó • : Ÿ x Ã Ä Ÿ x Ã Z n û ® 4 È t Ÿ Á È t r 5 ³ • g a s ‹ µ • : D p!e : v Û Ã ó y Ö x Ã n ‰ K Ç É C Ä š … s ³ • Ÿ x Ã % …!e Â ‰ K È t Ï 9 Â † ± ' . !a w J] Ã Á _ ÃÌ 2 Ã] Ã [³!b Á ³ • g a Ï s L M!e K Ö È µ g a š z Ã Ü Á Ã x Ü Ã x • Œ — ˜ _ Ä

Ÿ x Ã A!e n Ã ó • : Ý + Ÿ s!e : b É K n ³ • g a • : Ÿ • Ü Ä 1 š n Ý + Ÿ s % … × • Ÿ ¥ 4 Ä 7 ³ § Ý + Z ¥ r Ý +!e s ¥ r n g a • : Ÿ s!e ~ 4 Ÿ s % … Ý +] K k!e Á Ó A a U ¼ · U A!t 8 • Z Ý + Z $ r Ý +!e u g a s š ~ $ r • : Ÿ s!e 6 n ³ § Ý + Ý +] K y!e l { ÿ Á " ' Ã n ‰ c F š • : y h c !e k • Â ‰ Ç Ã ó!e ã • u Ý + Ü é º i!e ~ († U « ¨ Á Ó] ¨ Æ P U!t 9 ¶ " ^ ¥ Ý + Z ® 4 · š ~ Ý +!e 6 ` Š _ µ!e • Z Ý +] — y!e B K n " ' Ã n ‰ • : 4 Ì Ý ‹ Ž!e 0 3 _ ¸ ª _!t : PEBI Ý + Z ® 4 · š ~ Ý +!e × • n œ y Ý + • : µ ^ c Ä

¯ ä … s ¶ " ^ ¥ Ý + Ÿ s ¡!e n ³ • È t v Û Ã ó ¸ Ã Á ³ • Ã ó • : Ÿ s!e : b • : Ÿ x Ã ¸ \!e + ü ä ˜ ¶ 7 Ä % ¡ ¬ L ù IFC-3DgeoMdf[26] · š • : ³ • Ÿ D p Ë J!e ð K : ¸ b Ž Ÿ ¥ Á Ó : ó v \ Ä

3

… s ArcGIS ÃJava Ã Ë ¢ ¶ 5 ó Spring Cloud ³ { 7 ù û { † ' ö T `!e x „ ù ÿ ] _ R!e × • Ö " 0 Á ¦ b â Ã ² ö ê Ã . ‡ Ã × ; ‡ ¸ • § Ã U ª ' æ!a w ¤ « õ !b Ã È t Ã J U Ã ê È w ¤ ³ _!e B ' ù ú ¶ Ý È ¸ Ç t ³ _ ¢ ¶ Ä T ` K Á { † G Þ Ã { † x • ¸ { † Ö Ï H ¥ S s Ä µ × •) p Á { † G Þ ¸ { † x • Ï S s Ä

3.1

È ¦ — b x Ü K Á ' š ã • Ô 9 s È G b x ± 5 È ¦ b â Ã . ‡ ³ i µ & Ä Y • % ¡ Ö!s * _ s È G b CAD!e ‰ æ z V Ô 9 È ¥ CAD ¶!e ‰ È ¦ V Ô 9 È ¦ b â!a . ‡!b CAD ¸ 6 S ' æ _!e : b Ç + ¶!e u K ¼ * A Ä … s T ` Þ K Ö!s s » ´ Y x Ü . 1 s È G b CAD ¶ s T ` CAD ¶ ¬ ß ¢ ¶ s CAD ¶ Ô 9 ¢ ¶ Â ‰ x Ü G b x ± 5 ¿ Ÿ CAD ¶ s CAD ¶ + ¶ ¢ ¶ s È ¦ Ï b ³ K ê s ß ¢ ¶ s È ¦ ê a Ô 9 ¢ ¶ ü R A m ¢ ¶ ³!e ¦ u ¢ ¶ K \!e : ¨ s È G b x ± 5 ¿ Ÿ È ¦ b â!a . ‡!b ¸ ' æ _ Œ 9!e í ¹ Ý : ¨ ¿ ã _!e Ö " ? µ ù È ¦ b â ¸ È ¥ CAD ¶ Ã È ¦ b â ³ • _ Ã w ¤ õ ; ¥ _ ³!a ¶ 8!b!e ~ († š Œ é x Ü K G Þ ü é Ä

7
Fig.7 Fusion of 3D geological model and tunnel model

8
Fig. 8 Automatic detailed information based on the red line of land use

3.2

!a1!b é ü ¶ ‹ ' ö % 6

È ¦ — b x Ü . 1 9 Â ' Ö K b!e Ö ù ² Â È ¦ v Û 8 !!e ã • * _ ' ö ' æ ã ² š x [39]!e ¶ ‹ ¸ ' . 1 ' ö % 6 Ä Y • ¶ ‹ Þ K Ö!s * _ x Ü % Œ —

. 1 CAD ¶ á . 1 x ± ¿ n S È ¦ v Û 6 (
• !a b â Ã . ‡ Ã w ¤ õ • b ³!b z ‹ 6 S
¶ D s ß • ¶ ‹ . 1 ' ö % 6!e ~ 4 % ¡ ¶ ‹
ü é n µ!e ã • t È é ü ¶ ‹ . 1 ' ö % 6 % ¡ Ä '
ö % 6 ® Ö " š µ 5 W!a ! ÿ T ` K : ¨ y!e
- Ö í ¹!b!s
K ™ M!s x . 1 ™ M!a x . 1 @ ü p ¶!b ¸
0 Á ¦ (3 [Ã Á ®a í ¹!bÃ ‡ — ¿ !a í ¹!b] Ä
È ¦ v Û ý ž!s w ¤ õ • b ¸ • Ü!a í ¹!b!t
' æ y] b Ó!s ' æ n Z!a í ¹!b!t ' æ x ± ¸
!a ¶ 9!e í ¹!b!t ' ö š ª!a ô í ¹!b!t ' æ y] b
Ó!a í ¹!b Ä
n ÿ · ` . 1!e ¬ ù . 1 ™ M ¸ ' ö š ª s ã •
… ¶ ‹ i!e + 0 5 W!e ! ÿ T ` Ð K í ¹ : ¨!e
~ (K : Œ é ' ö % 6 ¶ ‹ ü é Ä

9
Fig. 9 Automatic distribution according to the foundation pit

!a2!b t K ¾ ü Œ ü
Ö ù Î K ' h 0!e … s T ` K Ö '
“ Œ — ¾ ü µ & Ä K * _ Ö !e ¬ ' .
1 x ±!e ¬ Ç ¶ A m ³ % …!e ÿ t K Z s Á
È ¦ ² ö ê x ± 5!a ¶ 10!b!e B Œ — 6 S µ &!e Ö t
' Œ — L » ò / Ä

10
Fig.10 Location-based protected area information

!a3!b R È ' ö
Ö ù 3 A 7 ý È ¦ ² ö ê 5 Z s Ÿ • š ' . 1!a Ö
" ' ¿!b!e … s T `!e # R ¦ u Ç ¶ C A m!e
s T ` A m ¢ ¶ Ã È ¦ b â ³ K ê s ß ¢ ¶ Ã
Ÿ ' ö . 1 ¢ ¶ Ã Ÿ • š ' . 1!a Ö " ' ¿!b ¢ ¶ ³!e
K : æ ª 7 ý Z s Ö $ • š . 1 Ä
!a4!b S õ ¯
È ¦ 7 q v Û 8 ! ü û A!e © Á È µ 4 ¡ æ ª Ô 9 Ö
µ &!e F † Á Ã Á ü R ¬ Z K µ &!e 4 ¡ • æ Ô 9
š n 6 S µ & Ä ! ÿ T `!e s ü R!a Z K!b ¸
Ö (3 ¢ ¶ Ã A m ¢ ¶ Ã ³ K ê s ß ¢ ¶ Ã w ¤ õ
¢ ¶ Ã ¢ ¶ Ã È t Ÿ s ß ¢ ¶ Ã ³ • K œ Ý ¢ ¶!e
K æ ª • ý š n i µ &!e Ö S õ ¯ Œ — L » ò / Ä

4

¼ S Á Ó Ã † I Ý Ã 5G ¦ µ Ãp _ Ã { š Ã
CIM ³ $) 5 ã 7 • ¸ S s!e x • { † Ý Z 0 Á ¦
; / S é t] 7 • [• œ c $ Ä ¯ + 0 Á ¦
v Û 3 + š n ! A g • 5 Ç!e … s ~ $) ã ²!e Á
0 { † ' ö T ` + ' Ü Á % • : ù Ÿ " t 6!e
t È ù T ` x Ü _ U Ã k r } Û _ Ð ¨ Ã
BIM Ã ó é ü K œ Ý Ã Ã Á Ã ó ¸ È t r Ã ó \ ³ (
ã ² Ä ¦ u ú ¶ Ý Ð ¨ È t ¸ È ³ _!e x „ ù 0
Á ¦ b â Ã ² ö ê Ã . ‡ Ã × ; ‡ ¸ • § Ã U ª ' æ Ã
È t Ã J U Ã ê È w ¤ ³ ÿ] _ R!e Û x
ù û 0 { † ' ö T `!e B Á K x Ü G Þ Ã
' ö % 6 ¶ ‹ Ã t K ¾ ü Œ ü Ã R È ' ö Ã S
õ ¯ ³ % • : ù S s Äu Ê!e! ÿ { † ' ö T `!e
* _ ' ö » Á ¸ È t » Á x „ † ä ¶ L!e W s { š Ã
n ¸ Á Ó ³ ã ²!e Û x È ¦ v Û 8 ! 9 ¾ Ã ó!e E ý {
† Ý È ¦ E Ã • ö ² Â r 3 ¸ Ö w @ L!e Ó u x ¹ {
† 0 x Ü!e B Á 0 { † x Ü Ã { † G Þ Ã { †
x • ¸ { † Ö ³ % , Ÿ H • S s š v Ä

(References)

[1] Ï µ 0 Á ¦ ö U . Ï µ 0 Á ¦ { † 0 7 • V •
[J]. 0 Á ¦ , 2020(4):8-23.
China Urban Rail Transit Association. Outline of smart urban rail development of urban rail transit in China [J]. Urban Rail Transit, 2020(4):8-23.

[2] ¸ 8 . ´ ÿ 0 Á ¦ Ý ' ö Ö 3 • { 7 ¸ S s [J]. æ
z ¦ ÷ , 2013(S1):236-239.
= + $ 1 / ; ' H Y H O R S P H Q W D Q G D S S O L F D W L
management system for Shanghai rail transit[J]. Surveying and Mapping Bulletin, 2013(S1):236-239.

[3] ~ « , • ÿ { , s X . 0 Á ¦ b Ý 8 ! ² ö ê Ö µ & 3 • Ü

Á¸Eý [J]. Ïõ x Ü , 2020(10):64-65.
:8 ' =+$1* 0 = +(: 'HVLJQ DQG LPSOHPHQWDWLRQ RI management information system of rail transit line network safety protection zone[J]. China Construction, 2020(10):64-65.
[4] ž . !ÿ GIS {š Ö µ&Ý3•Áü È¦x ² öê8!Ö Ï Ss [C]// Ïµ¿¬ K'U0Á ¦sU 2018 AÌf¸æ]»Áã² ÞpUØ Ð .2018:182-191.
/8 + $SSOLFDWLRQ RI *,6 EDVHG LQWHOOLJHQW information system in safety management of Nanjing Metro Operation Protection Zone[C]//Proceedings of the 2018 Survey and Surveying Professional and Technical Exchange Conference of the Rail Transit Branch of China Civil Engineering Society.2018:182-191.
[5] á. , ÿ> , ¿ , ³ . {† 0¿xÜ'È µ&@Lœc¸ Ss [J]. ÈtØâ , 2021, 67(S1): 285-287.
LIN L, YU M, LI K, et al. Research and application of geographic information platform for smart urban rail civil facilities[J]. Geological Review, 2021,67(S1):285-287.
[6] ©ÿ , ¿Å–, ·± , ³!g!ÿ GIS 0Á ¦w‹² öê8!Ö 3• œc¸Eý [J]!gÞ æz , 2017(3):46-50.
&+(1 - + /, & 3 =+$2 / HW DO 5HVHDUFK DQG safety management system of urban rail transit control protection zone based on GIS[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2017(3):46-50.
[7] ¨© , ™Å, ëÎ , ³ . !ÿ GIS 0Á ¦w‹²öê Ý Ö [J]. ý8 0Á ¦ , 2019(11):92-97.
&+(1* - &$2 < :$1* 7 HW DO 'LJLWDO LQVSHFWLRQ of urban rail transit control protection zone based on GIS[J]. Modern Urban Rail Transit, 2019(11):92-97.
[8] K K . ´ÿÈ¦ÃÁÜd{šx•Ö @LÜÁ¸{7 [J]. ´ÿµ¿•r , 2020, 41(2):97-100.
=+21* = & 'HVLJQ RI LQWHOOLJHQW RSHUDWLRQ management platform for Shanghai metro tunnel equipment[J]. Shanghai Land & Resources, 2020, 41(2):97-100.
[9] ¸ 8 , ÷‰4, •yf . !ÿí¹Ý'æã² È¦w¤ _ ®ñ sß [J]. ´ÿµ¿•r , 2013, 34(4):84-86.
=+$1 / ; 7$1* - 0 =+$1* 6 ; 7KH FRPSDULVRQ the subway subsidence data based on automatic monitoring technology[J]. Shanghai Land & Resources, 2013,34(4):84-86.
[10] ë< . í¹Ý'æã²Á0Á ¦ÃÁvÛx 'æÏ S s [J]. ÃÁ¸0Á ¦ , 2019(S2):185-189.
:$1* ; < $SSOLFDWLRQ RI DXWRPDWLF transit tunnel structure operation monitoring[J]. Tunnels and Rail Transit, 2019(S2):185-189.
[11] Ý]L . í¹Ý'æ3•Á0Á ¦²öê'æÏ Ss [J]. x¸·xÁ·fy , 2022(18):47-49.
;,1* - & $SSOLFDWLRQ RI DXWRPDWLF transit protection zone monitoring[J]. Architecture·Building Materials·Decoration, 2022(18):47-49.
[12] ëÿ , Ö÷º , $Ì . {šÝæzã²ÁÈ¦vÛ8!'wÏ Ss [J]. ý8 0Á ¦ , 2022(S1):118-122.
:$1* 0 ;8 & 4 -, : $SSOLFDWLRQ RI LQWHOOLJHQW and mapping technology in subway structure safety monitoring[J]. Modern Urban Rail Transit, 2022(S1):118-122.
[13] N ¨ , "¥I , ¤ŠŠ , ³ . !ÿ)q ÃÁ{š `ã ²œc¸Ss [J]. Þ æz , 2022,36(7):870-874.
LIANG Y C, YU S J, MA D D, et al. Research and application of tunnel intelligent inspection technology based on digital twin[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2022,36(7):870-874.
[14] •„M , úñ , ÌFÕ , ³ . 0Á ¦8!²öêY¯©53 Snz'œc [C]// Ïµ 5'œcU »Á¼"U 0Á ¦'g . {† ¸0Á ¦ 2018. Þ !sÏv40p 'jxÿ , 2018:9-12.
=+$1* / 0 =+(1* ; < <$1* = ' HW DO 5HVHDUFK factors and control measures of rail transit safety protection zone [C]//Smart City and Rail Transit 2018.Beijing:Minzu University of China Press, 2018:9-12.
[15] Ìhe , ~DD, ÷¼. 0Á ¦²öê•\8!Ö œc ¸Ss [J]. æz¦÷ , 2020(9):7-11.
<$1* ;) :8 = = 7$1* & 5HVHDUFK DQG comprehensive safety management of urban rail transit protection zone[J]. Surveying and Mapping Bulletin, 2020(9):7-11.
[16] iÿÿ , vJ , È'$, ³ . ´ÿÈ w¤n0Á ¦8!x Y¯âb [J]. ü p''÷ (í:5'), 2019,55(3):392-400.
/<8 + 0 6+(1 6 / <$1 ; ; HW DO 5LVN DVVHVVPHQW ground subsidence for rail transit safety operation[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2019, 55(3):392-400.
[17] †ij , Ä· , ëµ . Ë¢¶@LÜÁÁ0Á ¦{šx• Ë Ï Ss [J]. w‹¸µ&ã² , 2021(5):52-59.
+(- % +8$1* & :$1* ' $SSOLFDWLRQ RI platform design in rail transit intelligent operation and maintenance products[J]. Control and Information Technology, 2021(5):52-59.
[18] ³\õ , ¿h@, áhÃ . !µÜ'{†¢¶3• (iS3) 3+S œ [J]. ¿PSKOH , 2018,51(1):1-12.
=+8 + + /, ; - /,1 ; ' ,QIUDVWUXFWXUH 6PDUW (iS3) and its applications[J]. Journal of Civil Engineering, 2018,51(1):1-12.
[19] ¡õQ , £¦ , „ " , ³ . BIM _ U IFC 7•sß [J]. ¿ ¸PSKOH , 2020,37(1):126-133.
/$, + + +28 7 =+21* = / HW DO $QDO\VLV RI of the BIM data standard IFC[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2020,37(1):126-133.
[20] sñþ , •4 , ¬V7 , ³ .BIM ÁÈµga; œc$ ¸ 7 ¼ÃÁ[J].È µgaQ¢K'PDL , 2022,18(S1):14-25.
+(/ / =+$1* < 3(1* +) HW DO 5HVHDUFK development trends of BIM in the field of underground space[J]. Journal of Underground Space and Engineering, 2022,18(S1):14-25.
[21] @ /((6 + .,0 % * ,)& H[WHQVLRQ IRU URDG modeling[J]. Procedia Engineering, 2011, 14: 1037-1042.
[22] YABUKI N, LI Z. Development of new IFC-BRIDGE data model and a concrete bridge design system using multi-agents[C]// Intelligent Data Engineering and Automated Learning (IDEAL 2006).
%HUOLQ +HLGHOEHUJ 6SULQJHU %HUOLQ +HL
[23] Q,6,W,Q,µ'Ü'F'ÿ,Q,C,ÃÁ óãœ ÛÃÁv Ûµ&ÃóxÃ%¡ [J]. ¼¿±' , 2018, 39(5): 1867-1876.
=+21* < &+(1 - &+(1 * / HW DO 6KHOG information modelling method based on building information modeling technology[J]. Rock and Soil Mechanics, 2018, 39(5): 1867-1876.
[24] š"k , ë– , ‰, ³ . ¾È®rÝ·¹ ³• _Ãóœ c [J]. È µ&5''÷ , 2021, 23(1):143-154.
=+28 / & :$1* 3 ; &+(1 % HW DO 5HVHDUFK model of real estate integrated real estate[J]. Journal of Geo-information Science, 2021, 23(1):143-154.
[25] ž; . !ÿÈtüH'æ _ 0Á ¦8!9¾œc [J]. æ z¸gaÈ µ& , 2015, 38(8):44-46,49.
LU Y. Research on rail transit safety early warning based on geological environment monitoring data[J]. Mapping and Spatial Geographic Information, 2015,38(8):44-46,49.
[26] µ" , ~†M , „6 , ³ . !ÿ IFC U ³•ÈtÃóÔ• œc [J]. ¼¿±' ,2020,41(8):2821-2828.
&+(1 * / :8 - 0 =+21* < HW DO ([WHQGHG geological model based on IFC standard[J]. Geomechanics, 2020,41(8):2821-2828.
[27] È'$, ÌØl , }U , ³ . Ètµ& _ U [M]. ´ÿ!s`

è p ' j x ÿ!e2021.
<$1 ; ; <$1* / - /,8 < HW DO 'DWD VWDQGDUG IRU JHRORJLFDO information[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2021.
[28] ¬ . ! ÿ { ù U È t g a µ & Ð û r 3 v Û œ c [J]. ´ ÿ µ ¿ • r ,2012,33(3):85-90.
3 (1 * : ; * H R V S D W L D O V W D Q G D U G I U D P H Z R U N I R U V K D U L Q J R I geoscience information[J]. Shanghai Land & Resources, 2012,33(3):85-90.
[29] K â 3 , ~ e , ë ñ , ³ . È g a . Ý + 3 • x Ü • t [J]. Þ p ' ' ÷ (í : 5 ' x), 2016,52(6):1041-1049.
& + (1 * & 4 : 8) / : $ 1 * 5 H W D O $ S U H O L P L Q D U \ V W X G \ R Q W K H construction of geospatial reference grid system[J]. Journal of Peking University (Natural Science Edition), 2016, 52(6):1041-1049.
[30] K â 3 . Þ Ý + m é • µ U U ¸ ¦ q Ç ® r Ý % ¡ • ù t È [C]// ¨ î ³ — Ï µ T q A U .2023.
& + (1 * & 4 3 U H O L P L Q D U \ G L V F X V V L R Q R Q W K H Q D W L R Q D O V W D Q G D U G of Beidou grid position code and the integration method of communication navigation remote sensing[C]//the 13th China Satellite Navigation Conference.2023.
[31] ™ ê $, … 8 , ¾ . 0 Á ¦ BIM ! q ¤ š ª Ö 3 • œ 7 3 S s [J]. Ï µ é $ 5 ã , 2022(5):57-61.
& $ 2 < ; - , 1 / $) $ 1 * 6 7 5 H V H D U F K D Q G D S S O L F D W L R Q R I % , 0 Z K R O H O L I H F \ F O H P D Q D J H P H Q W V \ V W H P I R U U D L O W U D Q V L W [J]. Construction and New Technology, 2022(5):57-61.
[32] á h Ã , ¿ h @ , á ù . Ð ¨ GIS/BIM 9 Û Ã Á ! r ¤ Ö 3 • œ c [J]. Ã Á x Ü (Ï p), 2018,38(6):963-970.
/ , 1 ; ' / , ; - / , 1 + 5 H V H D U F K R Q W K H Z K R O H O L I H ¿ P D Q D J H P H Q W system of shield tunnel with integrated GIS/BIM [J]. Tunnel Construction (English and Chinese), 2018,38(6):963-970.
[33] ¿ " , ç , ¿ Y D . ! ÿ BIM È ¦ Ã Á ' æ µ & Ö 3 • Ü Á ¸ E ý [J]. n á K , 2021,37(3):131-136.
/ , < % & + (1 - ; 8 & : ' H V L J Q D Q G L P S O H P based subway tunnel monitoring information management system[J]. Forest Engineering, 2021,37(3):131-136.
[34] Ö T . ! ÿ CityMaker ¦ â BIM ¸ GIS \ ¬ L % 6 [J]. ¦ â ã ² € $,2017(4):55-57.
1 , 5 D L O Z D \ % , 0 D Q G * , 6 L Q W H J U D W CityMaker[J]. Railway Technology Innovation, 2017 (4):55-57.
[35] > @ + 2 8 / ' , 1 * 6 ' J H R V F L H Q F H P R G H O L Q J F R geological characterization[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1994
[36] Å , } U , Ì Ø I , ³ . ´ ÿ ³ • È t µ & 3 • S Ý [J]. ÿ Ë t ,2010,31(3):23-28.
& + (1 < / , 8 < < $ 1 * / - H W D O 7 K R X J K W V R geological information system enhancement[J]. Shanghai Geology, 2010,31(3):23-28.
[37] H L Ñ , M ™ , ë – , ³ . Ÿ M È µ g a Û x ã ² S s [J]. æ z 5 ' ,2022,47(8):18-24.
7 $ 1 < - * 8 2 0 4 : $ 1 * 3 H W D O 7 H F K Q R O R of transparent underground space construction[J]. Science of Surveying and Mapping, 2022,47(8):18-24.
[38] ç , - A , µ " , ³ . ¼ ¿ K) q ã ² œ c • • [J]. ã Ï 5 ã p ' ' ÷ (í : 5 ' x), 2022,50(8):79-88.
& + (1 - 6 + (1 * 4 & + (1 4 / H W D O 5 H V H digital twin technology for geotechnical engineering[J]. Journal of + X D] K R Q J 8 Q L Y H U V L W \ R I 6 F L H Q F H D Q G 7 H Edition), 2022,50(8):79-88.
[39] ^ 7 , • c I , ³ . 0 Á ¦ K ' æ ã ² š x [M]. Þ : Ï µ x ¸ Á j x ÿ , 2014.
- , 1 + = + $ 1 * - 4 ; 8 = ; H W D O & R G measurement of urban rail transit engineering [M]. Beijing: China Architecture Press, 2014.

Construction and application of digital base for intelligent monitoring of urban rail transit

3 (1 * : H Q [L D Q J[1,2,3]

(1. Shanghai Institute of Geological Exploration Technology, Shanghai 200072, China;
2. Shanghai Institute of Geological Survey, Shanghai 200072, China;
3. Shanghai Professional and Technical Service Platform of Geological Data Information, Shanghai 200072, China)

Abstract: To address the problems of unclear basic data, different standards, irregular management, data islands, untime G D W D X S G D W H V D Q G G L I ¿ F X O W V K D U L Q J D Q G F R R U G L Q D W L R Q L Q X U E data, artificial intelligence, Internet of Things, GIS, CIM, BIM, and other technologies, and considering all space-time features of the subway structure and its surroundings, the overall architecture of the urban rail intelligent monitoring digital base, including the perception layer, network layer, computing and storage facility layer, data layer, service layer, and application layer, is proposed. The key technologies for building a digital base for smart monitoring are also discussed. Dat V W D Q G D U G V D Q G V S H F L ¿ F D W L R Q V I R U P W K H E D V L V I R U E X L O G L Q J D G studied as pain points for intelligent monitoring of integrated geological information. Practical integration technologies V X F K D V W K H 2 * & V W D Q G D U G D Q G * H R 6 2 7 E D V H G R Q P X O W L V R X U F H K visualization technology for the BIM model was studied. Based on the attribute modeling technology, the fusion technology of the tunnel and 3D geological models was explored. Using ArcGIS, Java, and the Spring Cloud microservice framework a city's urban rail intelligent monitoring digital base was developed and applied for smart approval and O&M.

Key words: rail transit; intelligent operation and maintenance; digital base; three-dimensional geological model; GIS; BIM